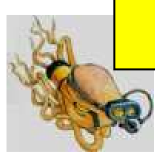




LE COMPRESSEUR ET LA STATION DE GONFLAGE

INTRODUCTION

Le plongeur de niveau 4 peut être admis après une formation à devenir responsable de la station de gonflage de son club ou participer a son fonctionnement en aidant le responsable du gonflage.
Pour cela il doit
-Connaître le fonctionnement du ou des compresseurs.
-Connaître les consignes de sécurité et la maintenance de la station de gonflage
-Maîtriser les temps de gonflage en fonction de la capacité du ou des compresseurs.
-Maîtriser le transfert des blocs tampons vers les blocs à gonfler.

Il peut de part sa fonction de responsable de palanquée donner des conseils sur l'achat d'un bloc ou expliquer le temps de plongée en fonction de la consommation ou inverse demander au plongeur de définir leur consommation après la plongée afin de la connaître.

LOIS DE PHYSIQUE

Le compresseur, la station de gonflage avec ses blocs tampon et le bloc de plongée répondront à :
-la PRESSION des fluides dans la conception mécanique et le fonctionnement : $P = F/S$
-la loi de CHARLE et GAY LUSSAC pour la chaleur et la pression pour le fonctionnement entre étages et le gonflage des blocs depuis un compresseur et le transfert depuis des tampons de gonflage. $P1/T1 = P2/ T2= Cte$
-la loi de BOYLE et MARIOTTE dans le fonctionnement entre étages, le gonflage et le transfert de l'air haute pression. $P1xV1=P2xV2$

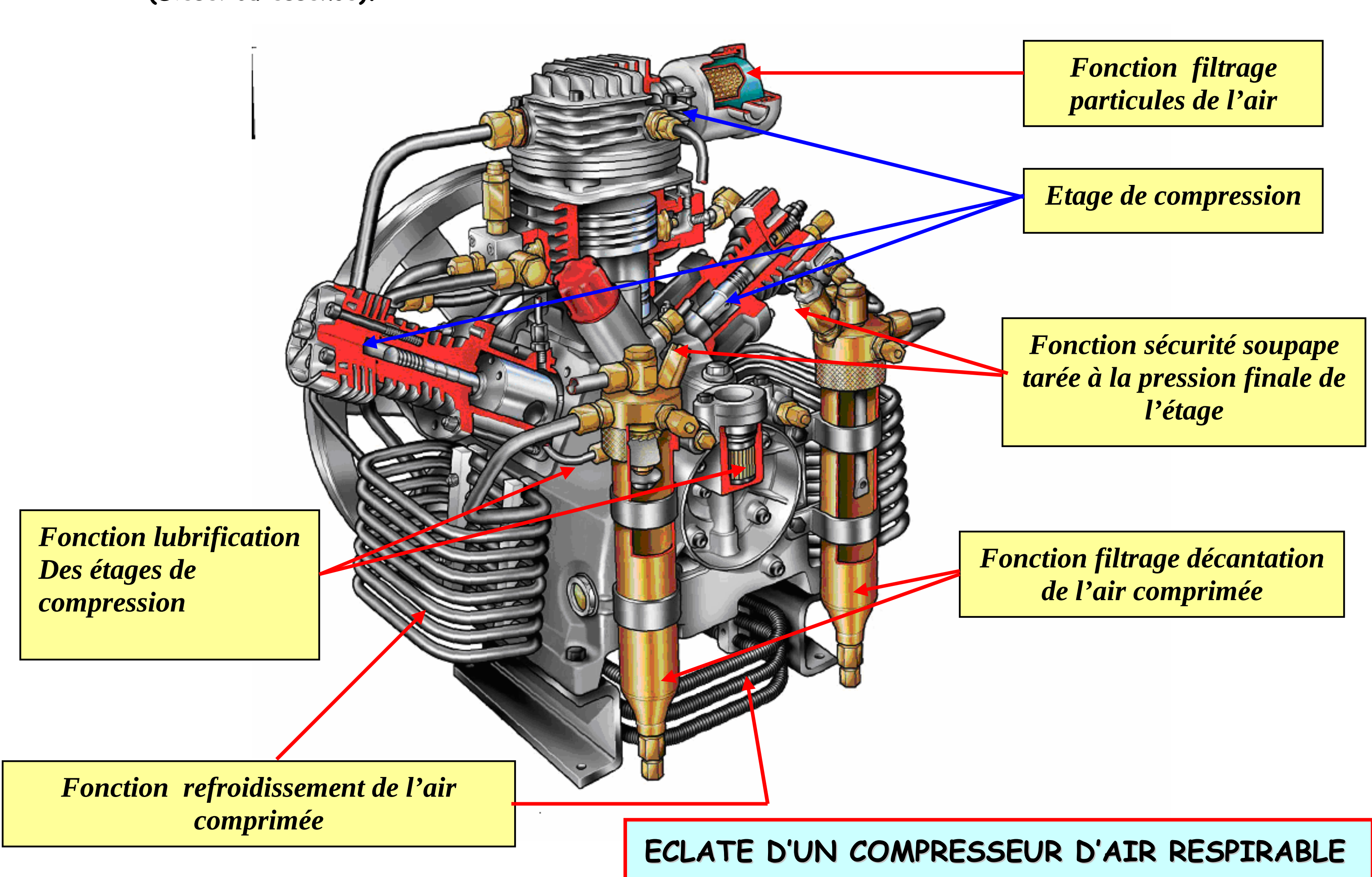
LE COMPRESSEUR

INTRODUCTION

La compression de l'air respirable doit répondre à la conformité de l'équipement par
- le marquage CE qui répond à la directive 97/23/CE du 29.05.97
- l'application des Normes Européennes
  - normes EN 12021 : définition de l'air respirable
  - normes EN 60204 : sécurité des machines, équipement électrique
  - normes EN 1012 : prescriptions de sécurité compresseurs
- l'application de l'arrêté du 15 mars 2000 sur l'exploitation des équipements sous pression.

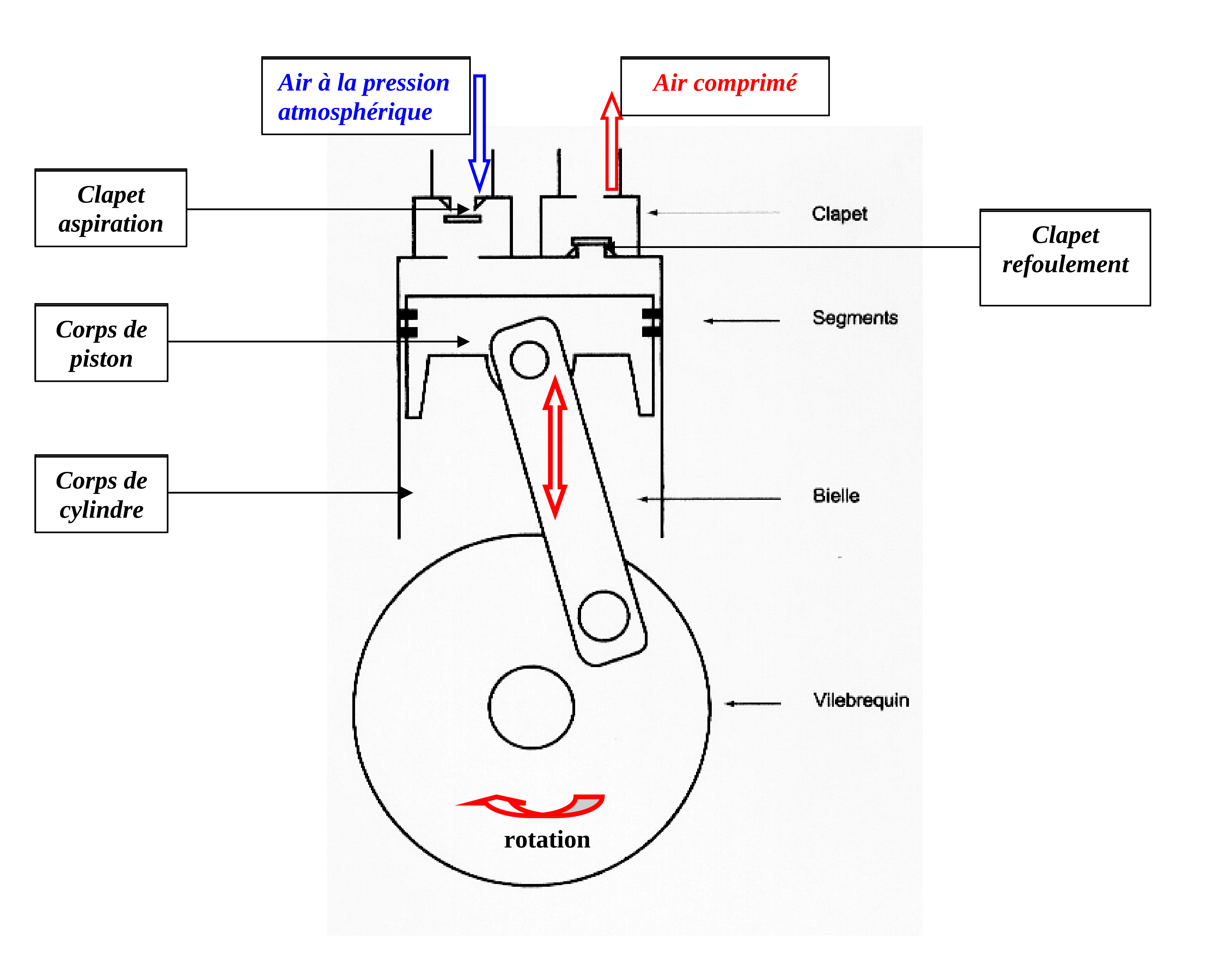
FONCTIONNEMENT, PRINCIPE DE BASE

Le compresseur sert à remplir à une pression demandée, les bouteilles de plongée ou les bouteilles - tampons à partir de l'air ambiant à la pression atmosphérique.
C'est un système mécanique entraîné par un moteur qui peut être électrique ou thermique (Diesel ou essence).



ECLATE D'UN COMPRESSEUR D'AIR RESPIRABLE

L'élément de base du compresseur le système :piston - cylindre - clapet



Ce système fonctionne en deux phases :

- aspiration
- refoulement

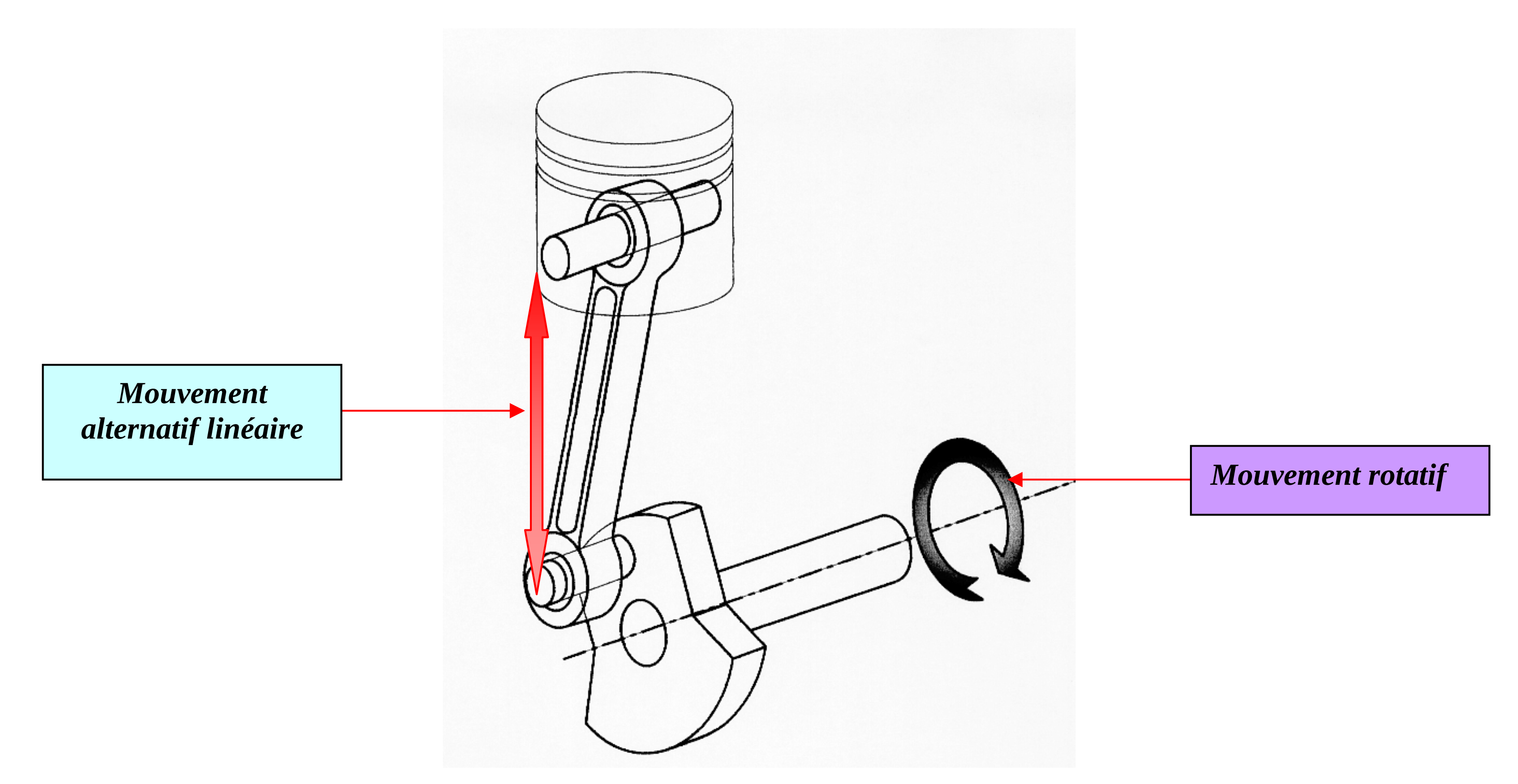
Lors de l'aspiration (descente du piston), le volume délimité par l'ensemble piston -cylindre augmente, donc la pression dans ce volume à tendance à diminuer (loi de Mariotte). Donc la

pression atmosphérique devient plus grande que la pression dans le cylindre, elle repousse le clapet d'aspiration et l'air rentre dans le cylindre.

Lors du refoulement (montée du piston), le volume diminue et la pression augmente. Le clapet de refoulement s'ouvre et l'air est chassé vers la sortie du compresseur (utilisation).

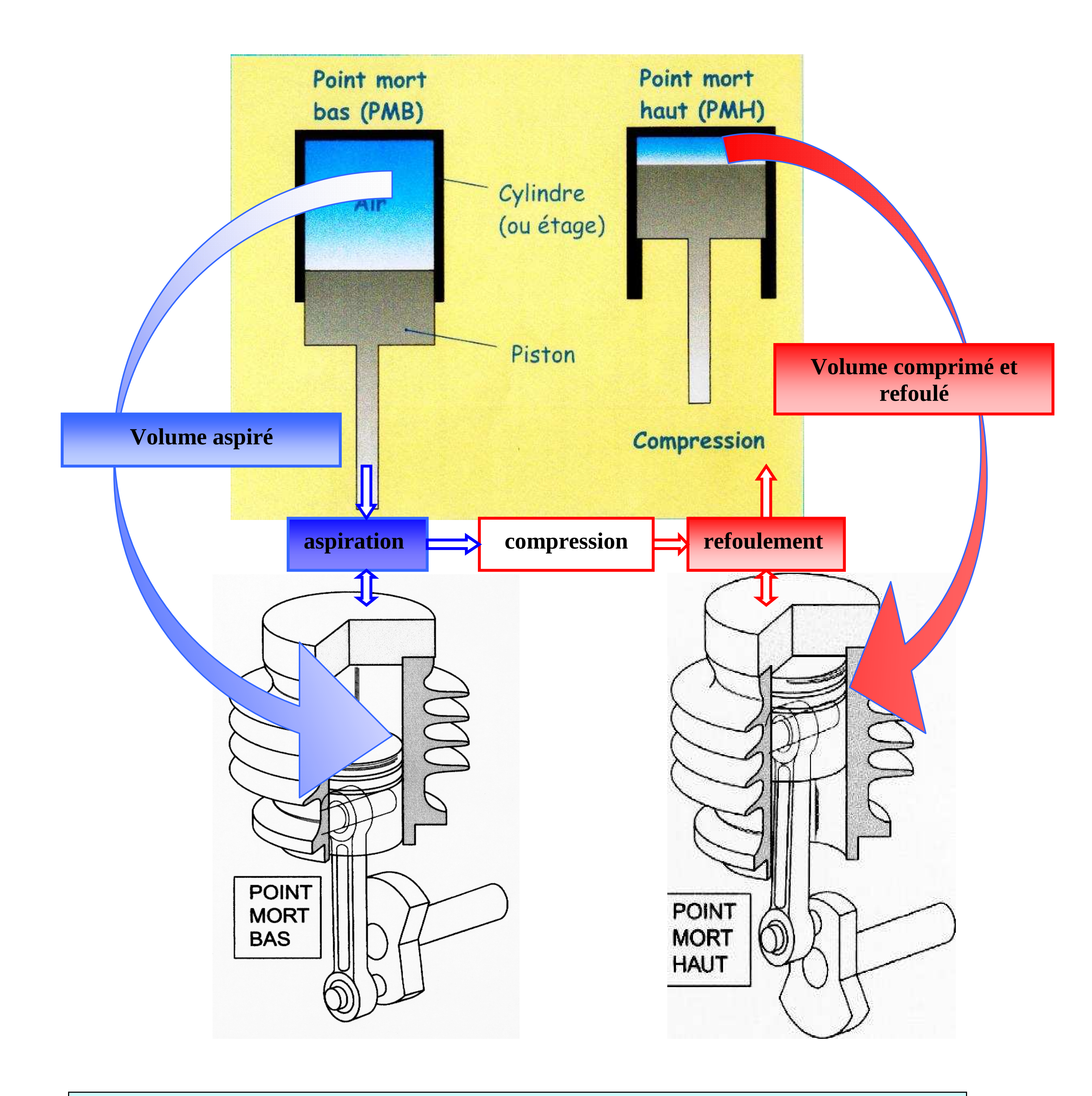
On notera la ressemblance très forte avec le principe des moteurs à explosions. De fait pratiquement toutes les techniques utilisées sont semblables (conception des paliers, construction des pistons et des chemises, segmentation). La seule différence est que les pistons des compresseurs sont plus couramment en fonte qu'en alliage d'aluminium.

La montée et la descente du piston sont commandées par un système que l'on appelle le système "bielle-manivelle" (Il sert à transformer le mouvement de rotation du volant en un mouvement alternatif linéaire (translation)



Au cours de la rotation du volant, le piston passe par deux positions extrêmes :

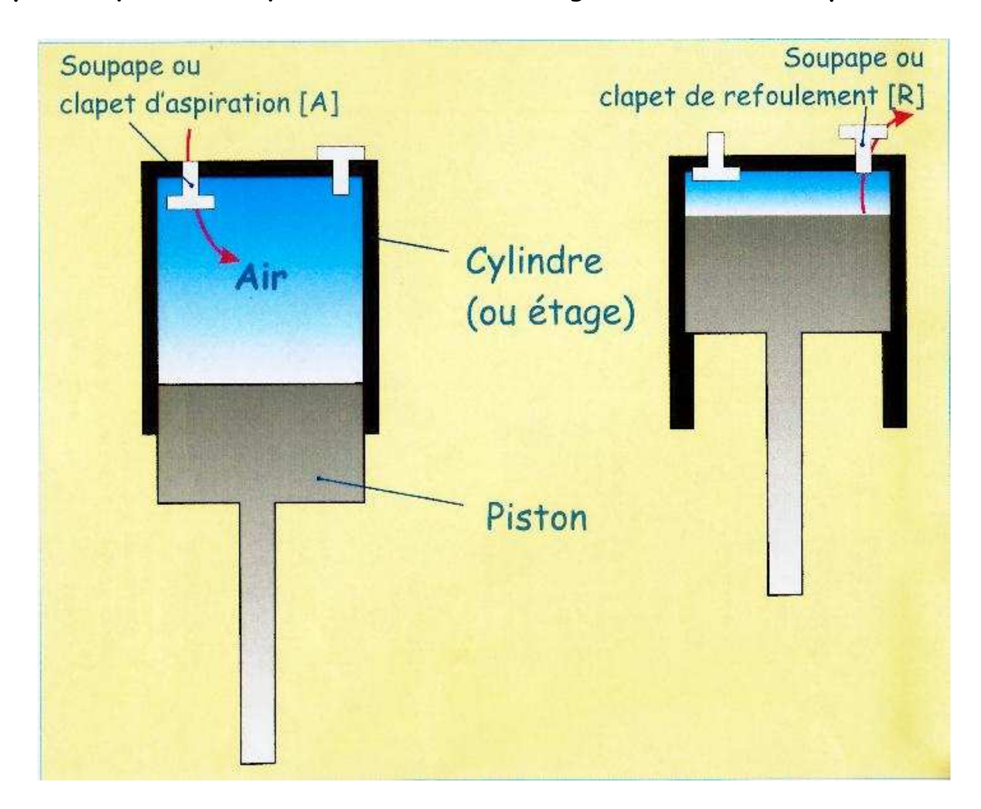
-le Point Mort Haut (PMH)
-le Point Mort Bas (PMB)



Ces deux positions définissent deux volumes du système piston - cylindre.

Le rapport entre ces deux volumes va nous *définir le taux de compression maximum* (Tc = Vpmb / Vpmh). Notons que ce taux de compression "volumétrique" n'est pas égal au rapport des pressions d'entrée et de sorties, la température s'élevant au cours de la compression).

De plus la compression ne se fait pas dans un cylindre fermé, comme sur un moteur, mais dans un cylindre qui communique librement avec l'étage suivant via le clapet de refoulement.



Dans ce cadre, le rapport de compression réel d'un étage est donc fixé par le rapport des flux entre les deux étages et non par le taux de compression du cylindre.

La liaison piston chemise du cylindre est une partie critique du compresseur qui doit supporter des contraintes contradictoires. La vitesse de glissement assez importante du piston dans la chemise, les efforts latéraux sur le piston imposent que cette zone soit très bien lubrifiée.

Il faut laisser un jeu fonctionnel entre le piston et la chemise et il faut qu'il reste suffisant quand la machine est en température. Sans jeu, il est impossible de lubrifier la zone de glissement et d'y garantir une pression de contact raisonnable.

De plus la création d'un point ou d'une zone surchauffée sur le piston risque de provoquer une décomposition de l'huile et la production de polluants (CO ,$CO2$).

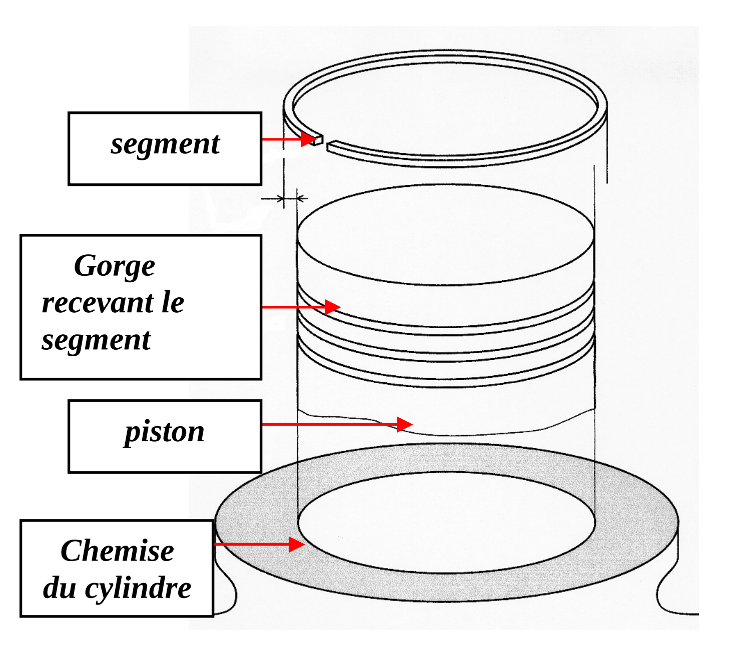
En même temps, il faut que la liaison piston chemise soit le plus étanche possible. Si le jeu est trop important l'étanchéité sera impossible à réaliser.
Cela amène un compromis l'état de surface de la chemise ne doit pas être trop lisse afin de favoriser la tenue du film d'huile de lubrification

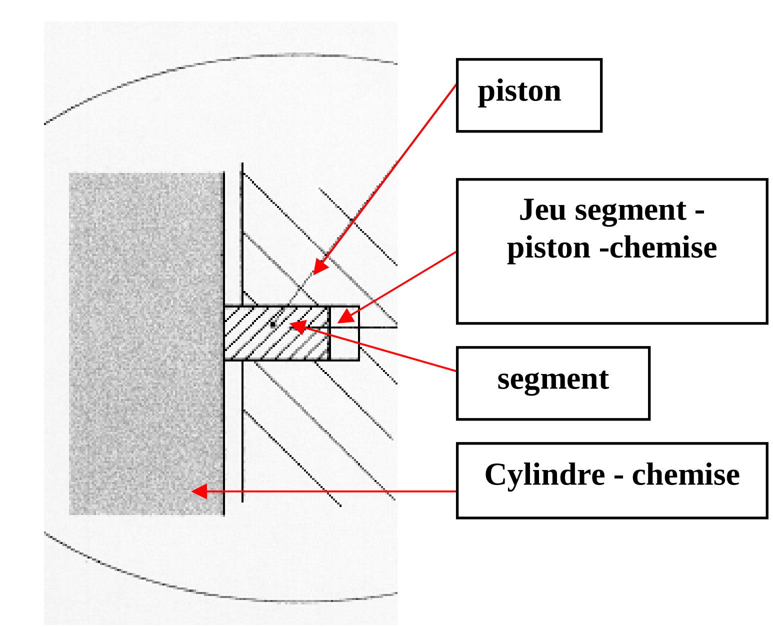
Un tel jeu ne permet pas d'assurer une étanchéité "naturelle" suffisante entre piston et cylindre.
L'étanchéité est réalisée comme sur les moteurs thermiques par des segments.
Les segments sont des anneaux en fonte, de sections carrées qui se logent dans des gorges usinées dans le piston. Ils sont élastiques et sont prévus avec un diamètre légèrement

supérieur à celui du cylindre. Leur élasticité leur permet d'assurer le rattrapage du jeu entre le piston et le cylindre

Afin de rester élastiques, ces anneaux ne sont pas complètement fermés, il reste donc un jeu entre les extrémités des segments quand ils sont montés, ce jeu doit être suffisant pour permettre la dilatation du segment.

Pour augmenter étanchéité on met en série plusieurs segments.
On a couramment 3 ou 4 segments sur les étages basses pressions et jusqu'à 12 sur la haute pression





Le film d'huile tenant sur les parois et dont le dépolissage du cylindre limite la circulation et concourt à l'étanchéité.

Ce film d'huile réalise un vrai joint fluide mobile avec le piston. Un segment spécial (segment racleur) placé en bas du cylindre limite l'épaisseur du film d'huile qui reste sur la paroi.

Ce qu'il faut retenir, c'est que l'étanchéité piston cylindre ne peut être qu'une étanchéité relative :

- de l'air sous pression fuit vers le carter.
- de l'huile du carter passe dans l'air.

Cette étanchéité peut se dégrader de plusieurs façons.
-Les segments peuvent perdre de leur raideur, perdre de l'épaisseur et ne plus s'appliquer correctement contre le cylindre.
-Les gorges des segments peuvent sous l'effet des contraintes alternatives s'élargir.

Les clapets sont des points très sensibles : un clapet s'ouvre et se ferme à chaque tour du compresseur soit jusqu'à, environ 1500 fois par minute, tout cela dans une ambiance corrosive et encrassante (huile + haute pression + température).

L'usure et l'encrassement sont rapides surtout pour les clapets les plus chauds (refoulement) et ceux se trouvant le plus prés du carter.

La figure ci-dessous montre quelques éclatés de clapets.

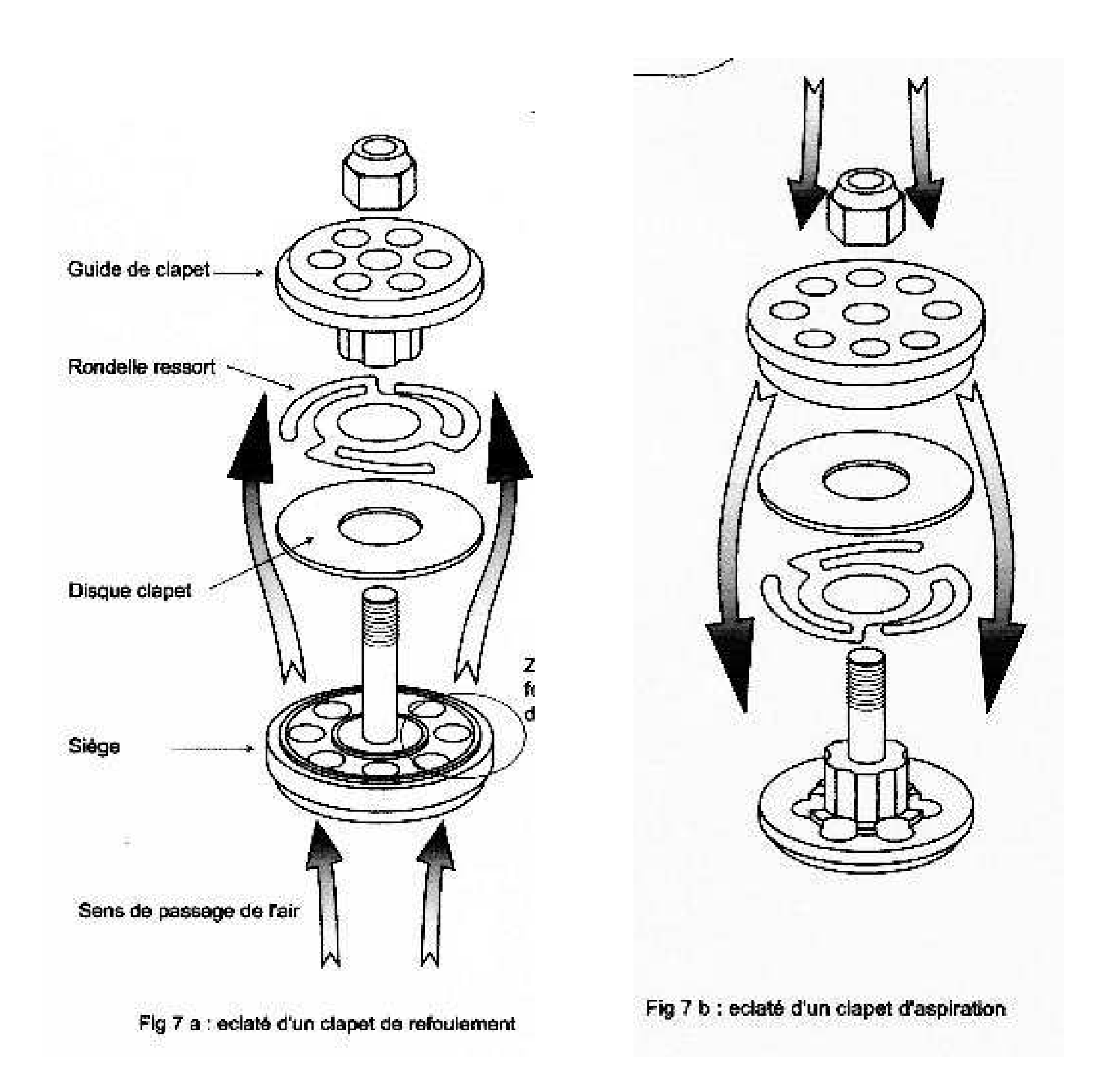
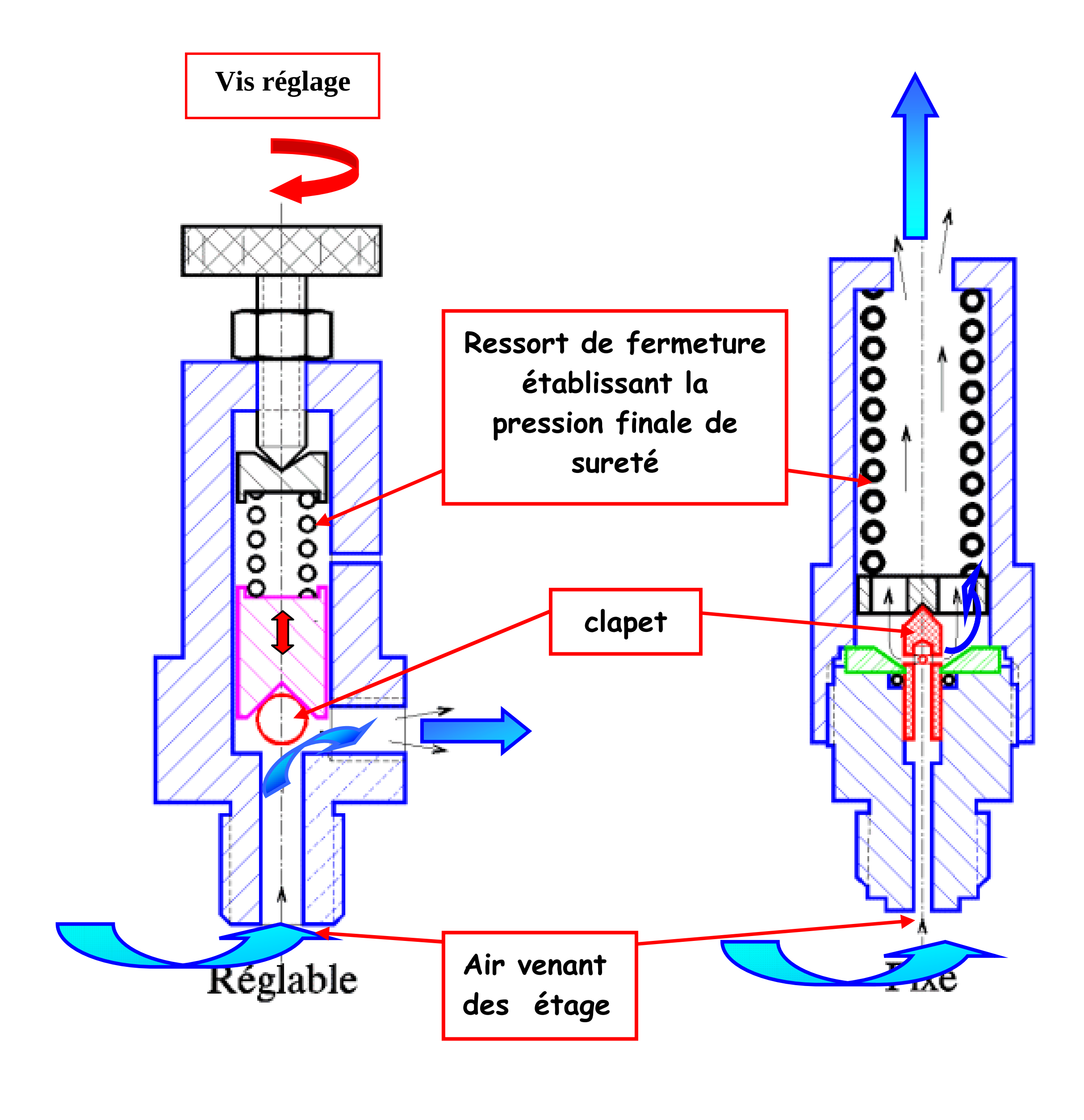


Fig 7 a : eclaté d'un clapet de refoulement

Fig 7 b : eclaté d'un clapet d'aspiration

FONCTION SECURITE

A chaque étage de compression nous trouvons une soupape de sécurité tarée à la pression finale de l'étage de compression afin d'éviter toute surpression dans le cylindre de compression et éviter la détérioration de celui-ci par explosion ou celle des filtres correspondants



DESSINS DE SOUPAPE DE SECURITE

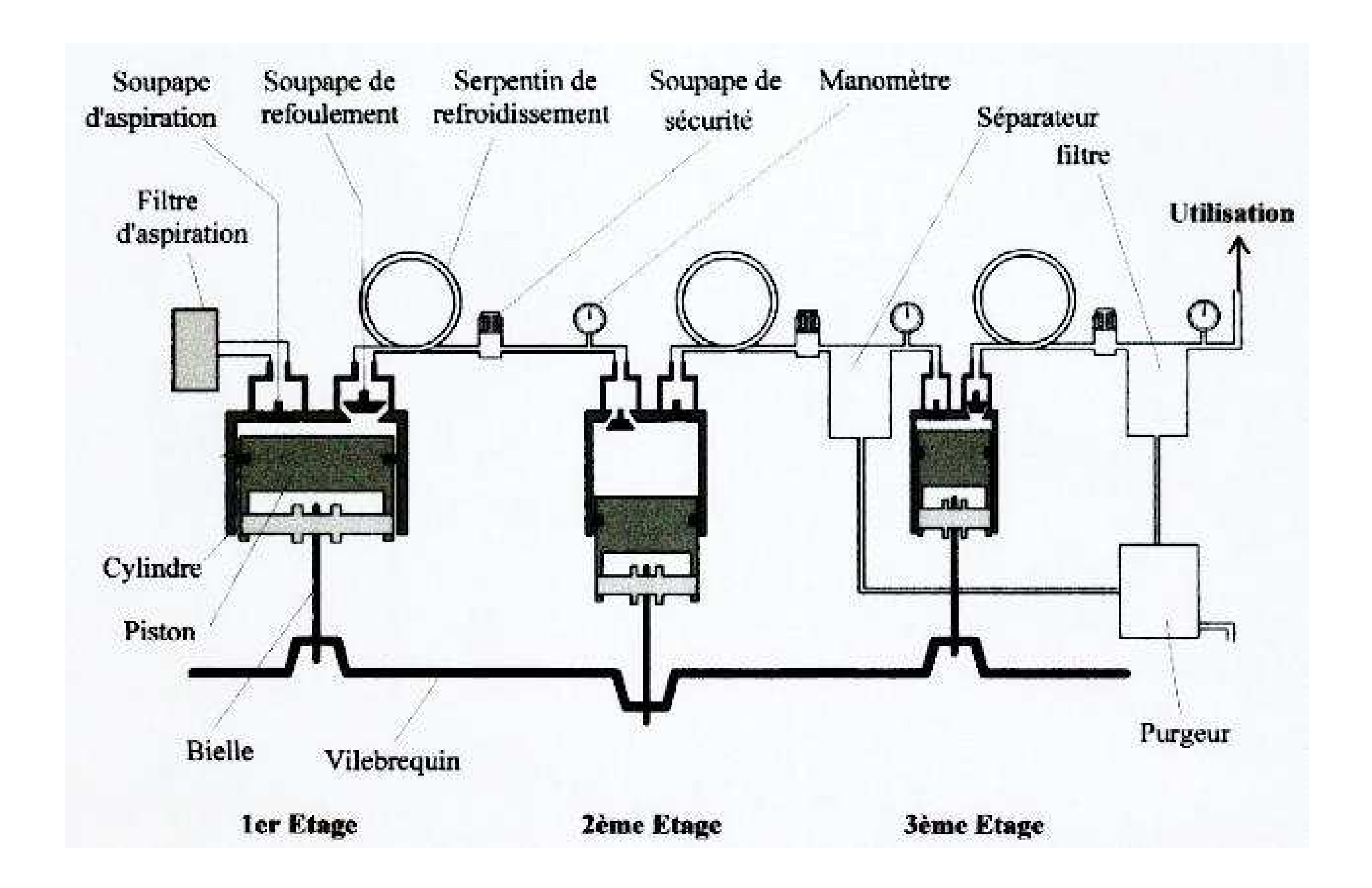
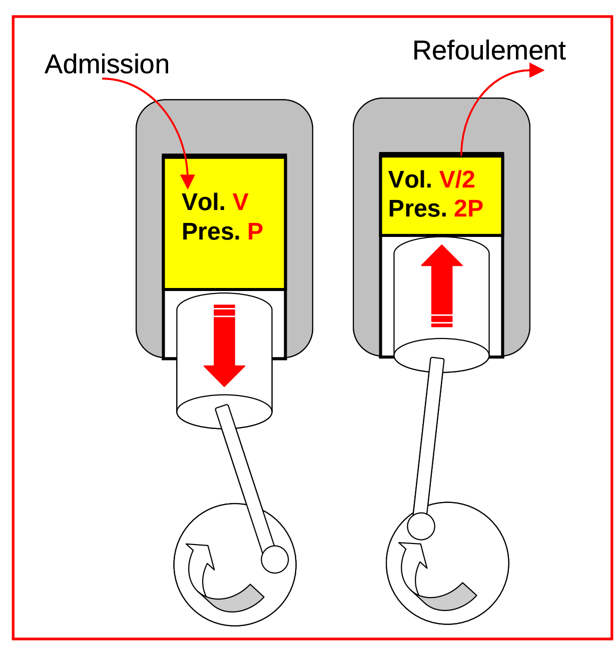


Schéma de fonctionnement d'un compresseur à étages

Il faut comprimer l'air en plusieurs étapes :

1: Comprimer l'air une première fois à une pression P1 telle que l'élévation de température reste acceptable.
2: Refroidir cet air comprimé
3: Reprendre cet air à la pression P1 et le recomprimer à une pression P2 toujours en respectant un taux de compression limité afin que l'élévation de température reste acceptable.
4: Refroidir à nouveau et recommencer le processus jusqu'à ce que l'on obtienne la pression de sortie désirée.

C'est pour cela que tous nos compresseurs comportent plusieurs étages de compression. Le minimum est de trois étages avec un rapport de pression moyen de 6 par étage.



Ils répondent a la loi de BOYLE ET MARIOTTE

Rapport de compression inter – étages d'un compresseur

1er ETAGE	2éme ETAGE	3ème ETAGE	4ème ETAGE	5ème ETAGE
6 bars	45 bars	225 à 330 bars		
4 bars	20 bars	60 bars	225 à 330 bars	
4 bars	15 bars	45 bars	150 bars	350 à 500 bars

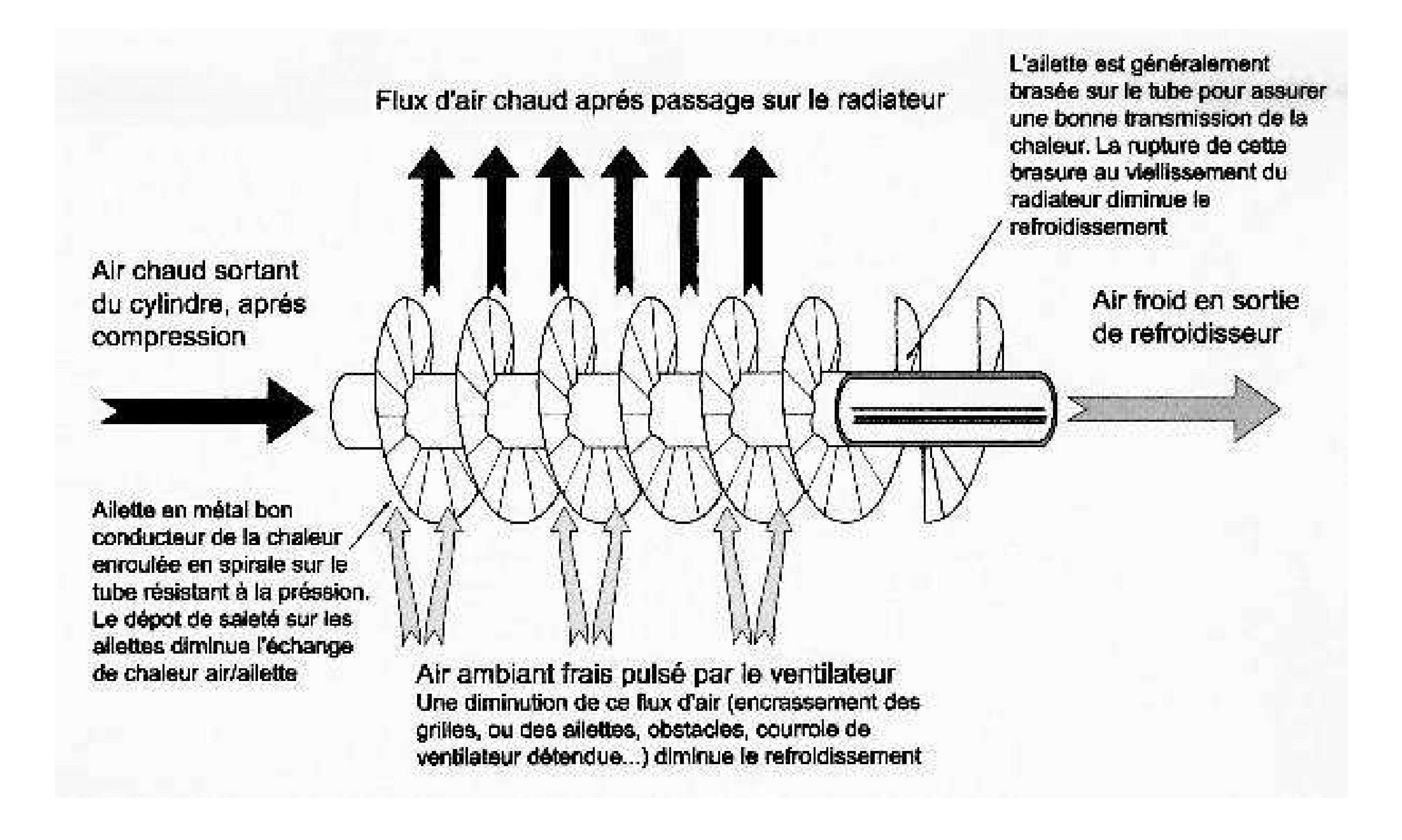
LA FONCTION REFROIDISSEMENT

La méthode utilisée pour refroidir un fluide est toujours un peu la même : on fait passer le fluide à refroidir dans un ensemble de tuyaux (radiateur), cet ensemble baignant dans un milieu froid.

Ce milieu froid peut être de l'air ou de l'eau. Généralement l'échange de chaleur naturel est insuffisant par rapport aux performances voulues, on est donc amené à utiliser toutes sortes d'astuces pour augmenter cet échange.

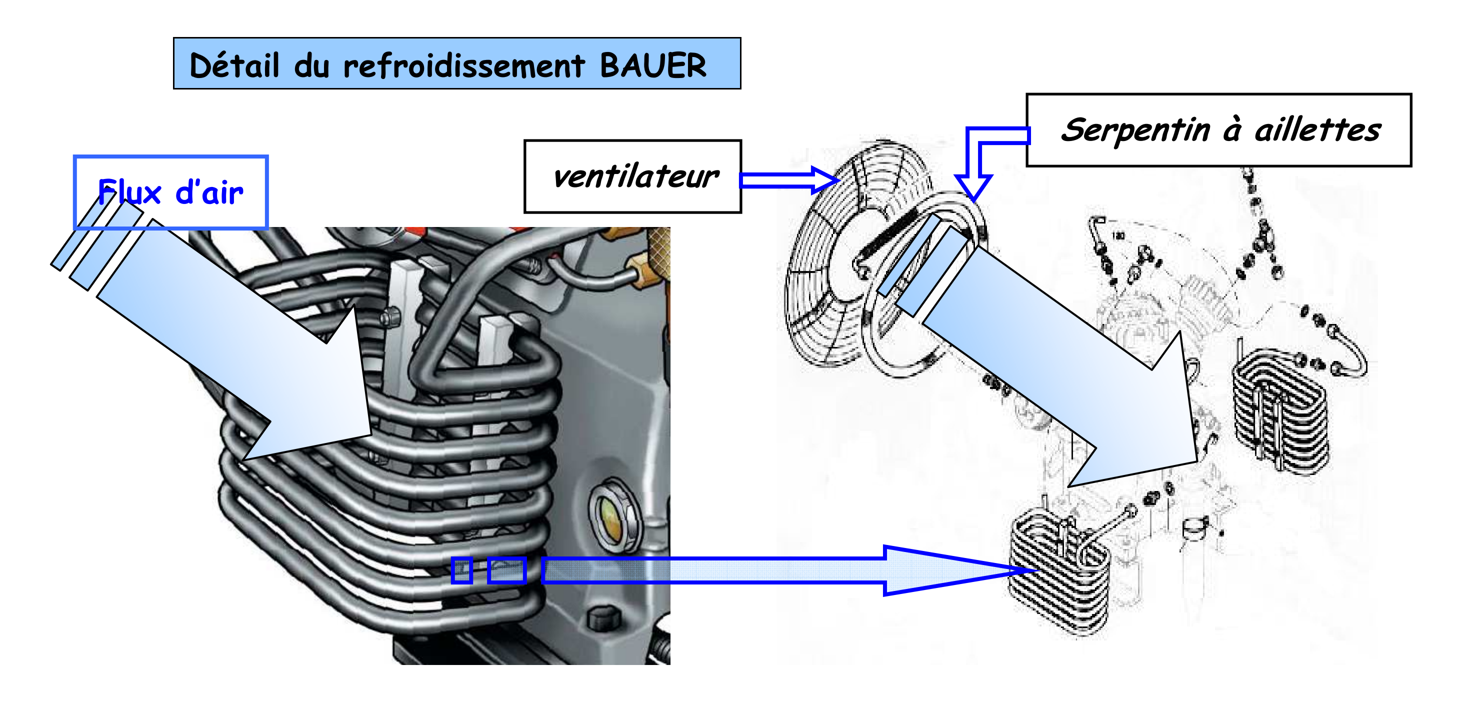
Dans le cas du refroidissement par air, les tubes du radiateur portent des ailettes qui augmentent la surface d'échange thermique et le radiateur lui-même est placé dans le souffle d'un ventilateur.

La figure suivante montre le principe de réalisation d'un de ces refroidisseurs.



La figure ci dessous illustre les variations de température de l'air au cours de sa compression et son passage dans les cylindres puis les refroidisseurs. On notera après le refroidissement de l'air la nécessité d'éliminer l'eau qui se condense.

Température
1 bar
20 °C
Compression dans le premier cylindre
6 b
130 / 140 °C
Refroidissement dans le radiateur
6 b
35 °C
Séparation des condensats
dans le décanteur
Compression dans le deuxième cylindre
36 b
130 / 140 °C
36 b
35 °C
Compression dans le troisième cylindre
200 b
130 / 140 °C
200 b
35 °C
Pre



Refroidisseur inter étage simple refroidit par air

L'hygrométrie de l'air

A une pression et une température données l'air peut contenir une certaine quantité d'eau, maximum 100% en cas de pluie par exemple

- Refroidir l'air comprimé augmente son hygrométrie
- Comprimer l'air augmente son hygrométrie

Les refroidisseurs sont un des points vulnérables d'un compresseur :

**** Les ailettes de refroidisseurs par air s'encrassent tandis que les tubes souffrent des vibrations.***
**** Les serpentins des refroidisseurs à eau s'entartrent et souffrent de la corrosion.***
Un compresseur mal refroidi commence par perdre son rendement, puis si sa température s'élève trop :
-il se pose des problèmes d'encrassement par l'huile qui se carbonise.
-il engendre du CO et du CO2 qui pollue l'air produit.
Mécaniquement un mauvais refroidissement accroît l'usure des cylindres (mauvaise tenue du film d'huile trop chaud), accroît la consommation d'huile et peut amener un blocage du piston par serrage

Il faut veiller sur les points suivants :
Sur les compresseurs refroidis par air :
1. les ailettes ne sont pas encrassées
2. les ailettes restent solidaires des tubes
3. la grille de protection du ventilateur n'est pas encrassée
4. il n'y a pas d'obstacle au flux d'air, ni devant ni derrière
5. il n'y a pas de recyclage c'est-à-dire un retour de l'air chaud vers l'aspiration du ventilateur
6. la pièce est suffisamment ventilée, la température n'y monte pas plus que quelques degrés quand le compresseur tourne
7. le ventilateur tourne bien, s'il est entraîné par courroie, sa courroie est en bon état et bien tendue

Sur les compresseurs refroidis par eau, il faut :
-1. surveiller la température de l'eau en sortie de machine
-2. surveiller l'état des serpentins (tartre, dépôts de sels...)
-3. surveiller le refroidisseur d'eau en cas de circuit d'eau fermé.

LA FONCTION FILTRAGE

Il y a deux grandes contraintes à propos de l'air :

1. L'air fourni par le compresseur est destiné à être respiré, il doit donc être biologiquement "propre", ceci étant imposé par les normes en vigueur.
2. Il ne doit pas contenir d'éléments susceptibles de nuire au fonctionnement du compresseur.

A cet effet il existe divers types de filtres. Nous allons suivre le cheminement de l'air et étudier les filtres que celui-ci traverse.

Position de la prise d'air

La position de la prise d'air est fondamentale pour éviter que des toxiques (en particulier le CO ou monoxyde de carbone) ne soit aspirés par le compresseur :

-Elle doit se trouver en hauteur et correctement placée par rapport aux échappements des moteurs thermiques.
-Elle doit de préférence se trouver en extérieur, dans une zone bien exposée au courant d'air, sans se trouver en position d'aspirer des embruns ou de la pluie

Filtre dépoussiéreur de l'entrée d'air

Le but de ce filtre est essentiellement de limiter la pénétration dans le compresseur de poussières abrasives.

Il y a de nombreuses technologies possibles :

-filtres papiers (type filtres à bain d'huile, à feutre gras, filtres centrifuges.

-Le type de filtre dépend de la sévérité du milieu.

La surveillance de ces filtres (vidage des bols à poussières, changement des éléments consommables est fondamental pour la longévité des compresseurs).

Filtres décanteurs inter- étages

Le rôle de ces filtres est de séparer l'air des condensas d'huile et d'eau. En effet à chaque refroidissement il y a une condensation des vapeurs contenues dans l'air.

Ces condensats sont doublements nocifs :

- pour le compresseur le passage d'une quantité notable de liquide (incompressible) dans les cylindres serait catastrophique tandis que les excès d'huile encrassent les clapets
- pour le plongeur l'huile est réellement toxique, il est important de délivrer un air sans trace d'huile

Le principe de base de ces filtres est celui de la décantation : l'air doit se détendre pendant un temps suffisamment long pour que les gouttelettes aient le temps de tomber.

- Pour diminuer la vitesse de l'air il faut accroître la section de passage.

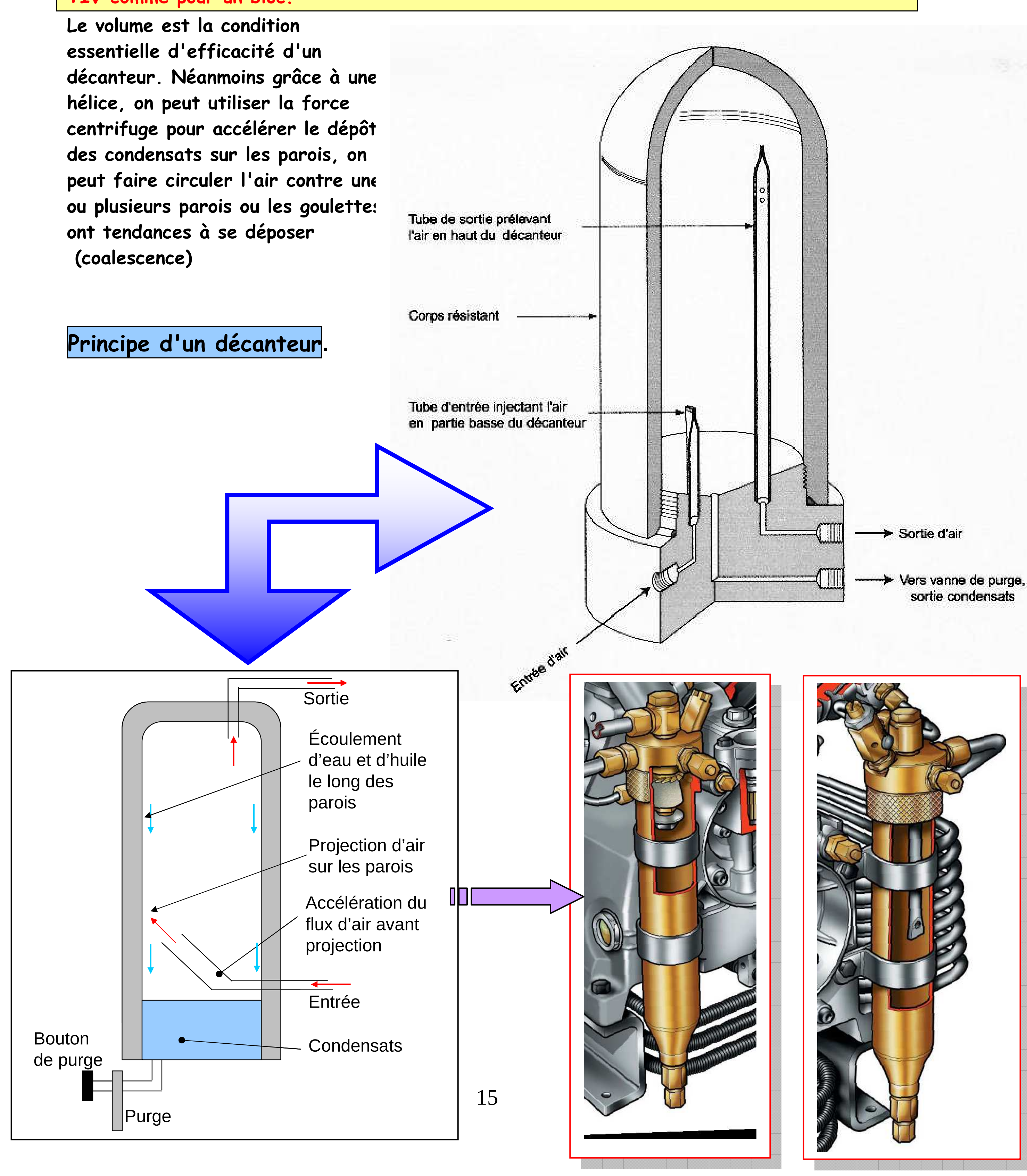
Ces filtres sont constitués par des réservoirs où l'air ralentit un certain temps avant d'être réaspiré par l'étage suivant.

- Ils comportent à leur partie basse une sortie de purge, qui ouverte à intervalle régulier permet l'évacuation des liquides qui se sont déposés.
- Purger trop rarement ces décanteurs provoque l'encrassement des clapets et abrège la durée de vie des filtres terminaux.

Ces filtres sont des réservoirs sous pression et sont donc soumis à la réglementation (réepreuves, visites...). La visite de ces récipients métalliques peut être effectuée par un TIV comme pour un bloc.

Le volume est la condition essentielle d'efficacité d'un décanteur. Néanmoins grâce à une hélice, on peut utiliser la force centrifuge pour accélérer le dépôt des condensats sur les parois, on peut faire circuler l'air contre une ou plusieurs parois ou les goulettes ont tendances à se déposer (coalescence)

Principe d'un décanteur.



Les filtres terminaux :

Ces filtres sont constitués d'un granulat de produit actif qui est traversé par l'air. Il y a 3 types de produits actifs classiques.

- *tamis moléculaires*

Son rôle est de supprimer les vapeurs d'eau et de fixer le gaz carbonique qui reste dans l'air à la sortie du compresseur.

L'eau n'est pas un toxique, mais elle dégrade efficacité des filtres à tamis moléculaire, si elle est trop importante elle accroît la corrosion des blocs et favorise le givrage des détendeurs.



Les tamis moléculaires se présentent sous la forme de billes blanches d'environ un millimètre de diamètre.

Ces granulats peuvent être recyclés par chauffage, à environ 300° C.

- *le silicagel* C'est un sel d'alumine qui fixe la vapeur d'eau.

- charbon activé

Rôle de ces filtres est essentiellement de fixer les vapeurs d'huile (toxique) avant le remplissage des bouteilles. Ils sont constitués de granulé de charbon, en général obtenu par carbonisation de bois, sous atmosphère contrôlée.

Le charbon activé est conçu pour fixer une certaine quantité d'huile, quand il est saturé, il devient complètement inefficace.

- Son efficacité diminue fortement en présence d'eau.

-Sa durée de vie dépend de la quantité d'huile que rejette le compresseur, une purge trop rare des décanteurs ou un mauvais état de la segmentation abrège cette durée de vie.

Ce dernier type de filtration est couramment utilisé seul en sortie de compresseur.

On utilise aussi couramment un arrangement de deux de ces filtres.

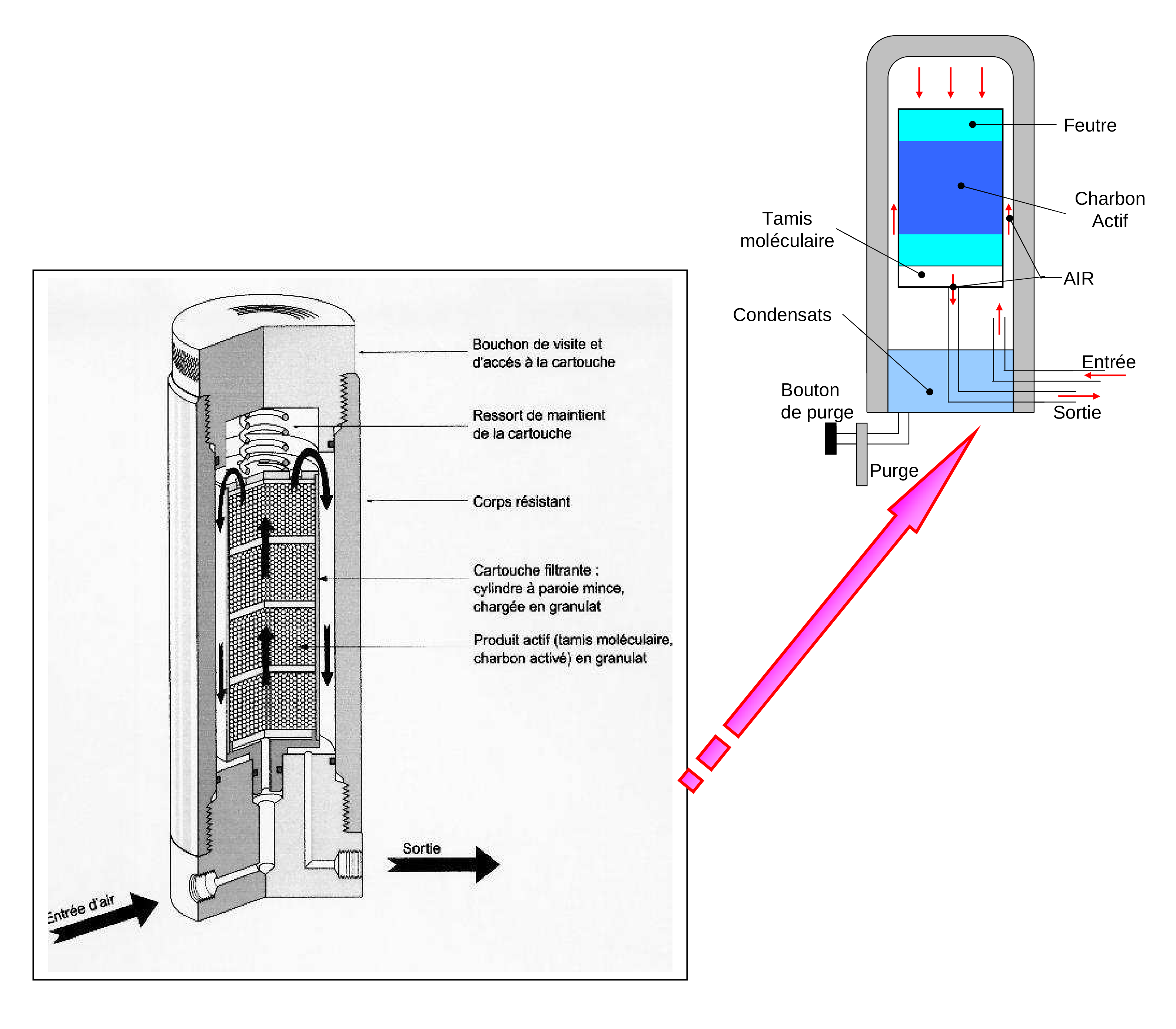


Un filtre à tamis moléculaire ou à silicagel arrête l'humidité est suivi d'un filtre à charbon qui fixe les vapeurs d'huile.

Dans ce cas, les deux types de granulats peuvent êtres chargés dans le même corps de filtre, par couches successives.

Ces filtres sont réalisés avec un corps sous pression, pourvus de bouchons de visites assez larges permettant le changement du milieu actif. Les granulats peuvent êtres chargés "en vrac" dans le filtre, auxquels cas des tampons de feutres ou des bronzes poreux empêchent les granulats d'être entraînés par l'air dans la tuyauterie. Ils peuvent aussi être fournis emballés dans des cartouches.

La figure ci dessous présente un principe de filtre à cartouche consommable.
Il faut noter que ces deux filtres sont des réservoirs sous pression soumis à la réglementation des appareils à pression de gaz



LA FONCTION LUBRIFICATION

Un compresseur c'est avant tout un ensemble de pièces mécaniques en mouvements : ces mouvements doivent être lubrifié.

L'huile utilisée pour les compresseurs doit répondre à trois critères :
-1. Toxicité minimale
-2. Résistance aux températures et surtout aux pressions d'oxygène rencontrées dans le compresseur.
-3. Caractéristique de lubrification suffisante pour la machine

Les huiles moteur classiques se décomposent au contact de l'air haute pression et sont fortement toxiques.

L'huile pour compresseur est une huile minérale de qualité particulière (obtenue par distillation ou cracking du pétrole) ou de plus en plus souvent une huile de synthèse (molécule construite à partir de ses composants élémentaires).

L'huile est en contact avec l'air tout au long de la compression, elle est donc soumise à deux « agressions » : la forte pression partielle d'oxygène et la température.

Si ces agressions ou leur combinaison deviennent trop fortes l'huile risque de se décomposer, de s'oxyder en produisant du CO et du CO_2.

L'huile à donc un domaine « interdit », en termes de PO_2 et de température qui ne doit pas être franchie, sous peine de produire un air pollué pour le plongeur.

Nécessité de choisir l'huile en fonction des caractéristiques de la machine. Ce choix est bien sur établi par le constructeur, en fonction de critères plus complexes encore et il convient de s'y tenir.

Les circuits de lubrifications

La plupart des compresseurs comportent un circuit de lubrification sous pression des paliers du vilebrequin (comme dans les moteurs thermiques).

L'arrêt de cette lubrification provoque la même conséquence que pour un moteur thermique -la destruction du compresseur.
Le fonctionnement de ce circuit est surveillé par un manomètre. La valeur nominale de la pression varie selon les constructeurs mais est en général aux alentours de 1 à 3 bar.

Les tout petits compresseurs n'utilisent pas des paliers lisses avec coussinets, mais des paliers à roulements ou à aiguille qui se contente d'une lubrification par barbotage, cela permet de se passer d'une lubrification sous pression.

Le séchage de l'air

Nous avons vu que l'air en sortie du compresseur est saturé en eau. Afin d'éviter la condensation dans les bouteilles, on peut avoir besoin de disposer d'air de degré hygrométrique plus faible. Le défaut de ces filtres est qu'ils doivent êtres régénérés quand ils sont saturés en eau. Cela se fait assez simplement en chauffant les granulats à 300°C. Ces filtres simples sont d'un prix très accessible et peuvent constituer un bon investissement pour un club. Par ailleurs beaucoup de cartouches filtrantes modernes intègrent une fonction de séchage de l'air par l'intégration de couche de silicagel ou de tamis moléculaire.
Il existe des systèmes utilisant ces milieux actifs et en assurant automatiquement la régénération.

LA STATION DE GONFLAGE

- Caractéristiques d'une station de gonflage
- Composition générale
- Risques potentiels
- Installation
- Évacuation de la chaleur
- Déclaration à la D.R.I.R.E.
- Réglementation

Si un compresseur peut constituer, à lui seul, une station de gonflage elle sera considérée comme mobile, il n'est le plus souvent que l'un des composants de celle-ci. D'autre part, il est exceptionnel de voir deux stations identiques. Nous aborderons les stations de gonflage fixes





CARACTERISTIQUES D'UNE STATION DE GONFLAGE

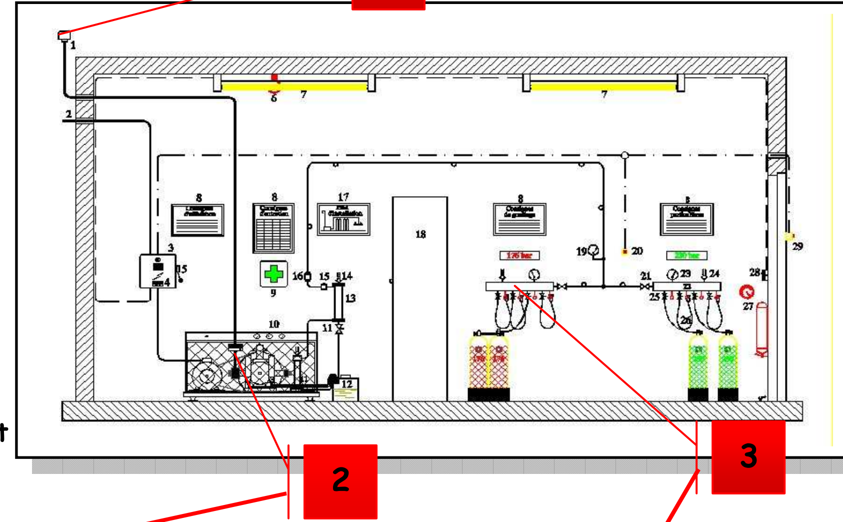
Elles sont définies par :

- le débit de remplissage.
- Le volume de stockage.
- La sécurité.
- La qualité de l'air.
- Le confort du personnel.
- La maintenance passive et corrective.
- Le respect de l'environnement et du voisinage.
- Le coût d'investissement, frais d'amortissement et de fonctionnement.

COMPOSITION GENERALE

Une station de gonflage comprend généralement :

1-Une prise d'air.
2-Un ou plusieurs compresseurs avec leurs organes de filtrage et leurs moteurs d'entraînement.
-Des éléments de stockage (éventuellement).
-Des organes d'isolement.
-Des systèmes de contrôle.
-Un système de refroidissement.
-Un poste de commande.
3-Une rampe de chargement qui permet de raccorder les bouteilles à gonfler.









Pour bien comprendre les raisons des choix qui guident l'installation d'une station de gonflage, il faut évaluer les risques qu'elle présente pour le personnel, le matériel et l'environnement. En dehors du compresseur lui-même, qui est soumis à des normes précises, les autres parties peuvent, parfois, présenter des dangers particuliers.

Ceux-ci dépendent beaucoup de l'installation : risque d'explosion, de sectionnement, de projection de pièce, d'électrocution, de brûlure, d'intoxication, de glissade, d'écrasement de pied ou de main, de bruit, de pollution etc.

Il faut noter que les risques potentiels sont fonction :

- De la qualité de l'installation.
- De la disposition du site et des locaux.
- Des composants utilisés.
- Du type d'énergie utilisée : électrique ou thermique.
- De la puissance du compresseur ou nombre de m^3/heure qu'il peut fournir.
- Du volume et de la pression d'air stocké.

Il n'y a cependant pas lieu de s'alarmer, une installation réalisée avec des équipements normalisés, installés suivant les règles de l'art, correctement surveillée et utilisée ne présente pratiquement pas de risques.

INSTALLATION

Le site

Un compresseur fait du bruit, produit des condensats, de la chaleur et émet des gaz polluants. (lorsqu'il est équipé d'un moteur thermique)
Avant toute installation, dans un lieu public ou privé, il y a lieu de s'assurer qu'on ne risque pas de gêner le voisinage. (Il existe des compresseurs bien insonorisés) On vérifiera aussi qu'on évacue correctement les gaz d'échappement et les condensats).

Des autorisations peuvent être nécessaires pour ne pas avoir à déménager, après un certain temps, à la suite de réclamations pour le bruit. Un compresseur nécessite, nous l'avons vu, de prélever un air de qualité. Il faut donc s'assurer qu'il n'existe pas de source de pollution présente, saisonnière ou future dans l'environnement du site choisi.

Le local

Il faut éviter les dispositions en étage ou avec dénivellation importante. Le local doit être spacieux, bien aéré, frais mais sec et hors gel. Pour un parc de 50 à 60 bouteilles, un local de 30m² est suffisant. Une moitié environ sera réservée au compresseur et bouteilles tampons, l'autre moitié sera réservée au stockage du matériel et à son entretien.

La partie compresseur surtout

- Doit rester propre.
- Le sol doit être plat, cimenté et de préférence peint avec une peinture anti poussière appropriée.
- Les condensats et les huiles de vidange ne doivent pas être évacués par les égouts mais vers une déchetterie ou station service.
- Il faut donc prévoir des bacs de collecte.
- Un caniveau dans le sol peut aussi être très utile pour le nettoyage à l'eau et au détergent du sol ou pour récupérer les condensats en cas de fuite.

L'ensemble doit être suffisamment clair ou éclairé pour ne pas nécessiter d'éclairage d'appoint lors des interventions de maintenance.

-Il ne doit pas être encombré, et ne doit pas être un lieu de passage accessible à tout le monde.

-Il doit se fermer à clé mais l'opérateur ne doit jamais s'y enfermer.

Prévoir :

- une prise de courant,
- une prise d'air comprimé pour les nettoyages,
- un extincteur à poudre,
- un anneau de levage
- des panneaux signalant l'interdiction de mise en route pendant la maintenance.

Le compresseur

- Il doit être posé au sol, de préférence par l'intermédiaire d'amortisseurs. Le scellement rigide n'est pas souhaitable, car il communique les vibrations au bâtiment.
- Les amortisseurs sont placés :
  - sous le châssis pour les moteurs électriques,
  - entre le moteur et le châssis pour les moteurs thermiques.
- Il doit être accessible pour faciliter
  - son entretien,
  - son utilisation :
    - purges
    - manutention des bouteilles
    - contrôle, maintenance préventive (nettoyage, vidange), maintenance corrective.

-Les protections mécaniques doivent toujours rester ou être remises en place.

La ventilation doit se trouver au moins à 25 cm du mur le plus proche. Il faut savoir que le débit d'air de ventilation peut atteindre plusieurs milliers de mètres - cubes/heure.
L'acheteur doit souvent fournir l'interrupteur et le disjoncteur principal muni d'un différentiel ayant pour but de pallier tout défaut d'isolement à la terre.

Les compresseurs font de plus en plus appel à l'électronique, aussi il faut éviter que des parasites industriels viennent perturber leur fonctionnement.

Voir la directive 89/366/CE, les normes EN5081 et EN5082 sur la compatibilité électromagnétique.

Attention

Les axes doivent être aussi horizontaux que possible. Les petits compresseurs sans pompe à huile sont particulièrement sensibles à l'inclinaison et au niveau d'huile. Sauf s'ils satisfont aux spécifications de la Marine Marchande ou de la Marine Nationale.

ÉVACUATION DE LA CHALEUR

Nous avons vu qu'un compresseur absorbe environ 368 watts par heure et par m^3 d'air comprimé à 350 bar. Un compresseur de 40m^3/heure absorbe donc près de 15 kW/h Ceux-ci sont presque entièrement dissipés sous forme de chaleur dans le local où il se trouve.

Les températures limites admissibles dans le local du compresseur sont comprises entre -10 et + 45°C. (-10°C pour éviter le figeage de l'huile)
Pour éviter un échauffement anormal, il est donc nécessaire de prévoir l'évacuation vers l'extérieur de cette énergie thermique. Il existe pour cela plusieurs moyens dont nous avons déjà dit quelques mots au chapitre précédent :

Ce sont :

- La ventilation naturelle (par convection),
- La ventilation forcée (par extracteur),
- Le refroidissement par eau perdue.
- Le refroidissement par eau recyclée.

Ventilation naturelle

En fait la ventilation n'est jamais complètement naturelle puisque le compresseur possède toujours une ventilation propre. (Voir figure) La ventilation sans ventilateur d'appoint est la méthode idéale en climat tempéré pour des compresseurs de capacité inférieure à 50 m^3 heure en service intermittent. Les ouvertures à réaliser dépendent de la puissance du compresseur, du volume du local et du décalage en hauteur des prises d'aspiration et d'évacuation.



Le tableau ci-après, donne une vision de la surface des ouvertures de ventilation à prévoir.

Débit du compresseur	Puissance électrique du moteur en kW	Ventilation naturelle Surfaces minimum des ouvertures d'aération, en mètres carrés, en fonction du volume du local et du décalage en hauteur des aérations					
		V = 50 m^3 Δ h = 2 m		V = 100 m^3 Δ h = 3 m		V = 200 m^3 Δ h = 4	
		Entrée	Sortie	Entrée	Sortie	Entrée	Sortie
6m^3/h	2,2	0,12	0,10	--	--	--	--
8m^3/h	3	0,24	0,20	0,12	0,10	--	--
10m^3/h	4	0,30	0,25	0,12	0,10	--	--
15m^3/h	5,5	0,42	0,35	0,24	0,20	0,12	0,10
20m^3/h	7,5	0,90	0,75	0,60	0,50	0,24	0,20
30m^3/h	11	1,38	1,15	0,90	0,75	0,54	0,45
40m^3/h	15	1,92	1,60	1,45	1,20	0,90	0,75

Dans la mesure du possible, la prise d'air frais se fait dans la partie basse de la pièce.
L'air chaud est évacué par une aération en hauteur et à l'opposé.

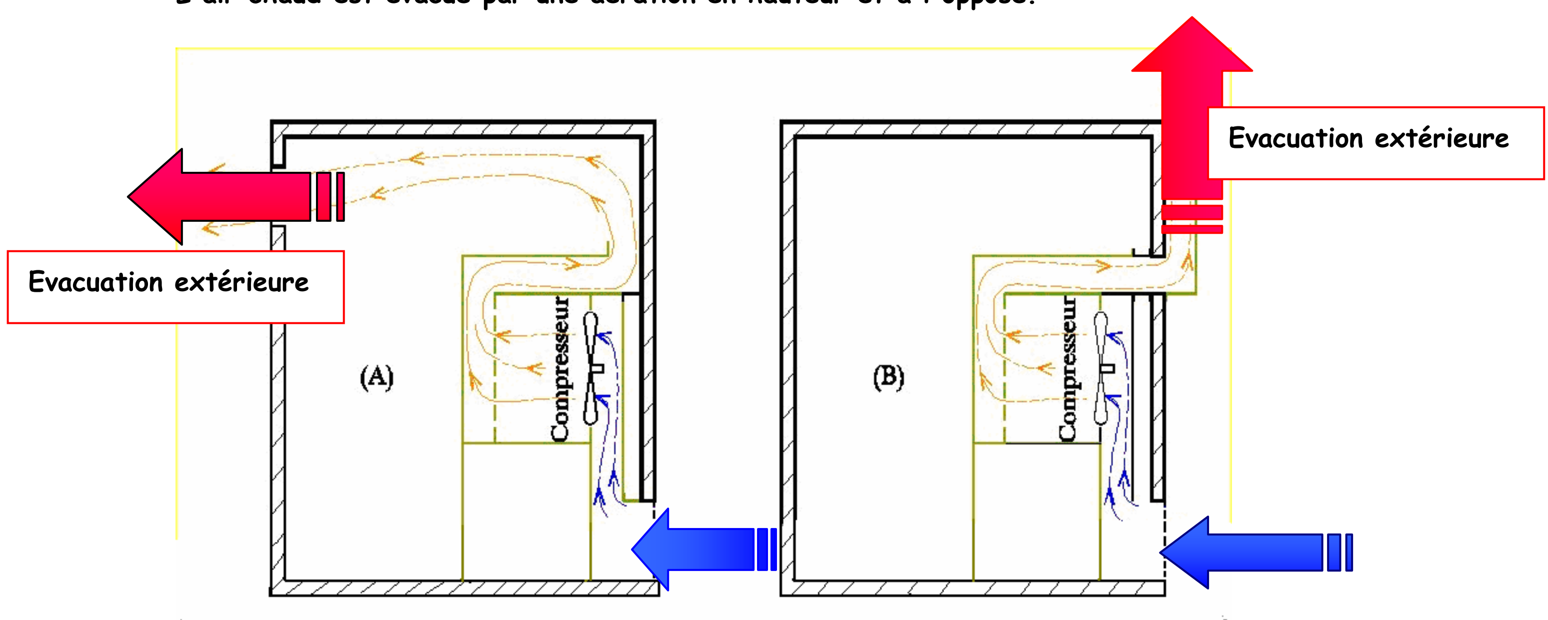


Figure 1 - Aération naturelle

Il faut, éventuellement, pour le calcul, ajouter à la puissance du compresseur celle de toute autre source d'énergie dissipée dans le même local. En cas d'installation de chauffage pour l'hiver, il est bon qu'elle soit régulée pour tenir compte de la chaleur dégagée par le compresseur.

Ventilation forcée

Lorsque le local est trop petit ou lorsque le compresseur a un débit supérieur à 50m^3/heure,

la ventilation forcée à l'aide d'un ventilateur électrique s'impose, *voir la figure 2.*

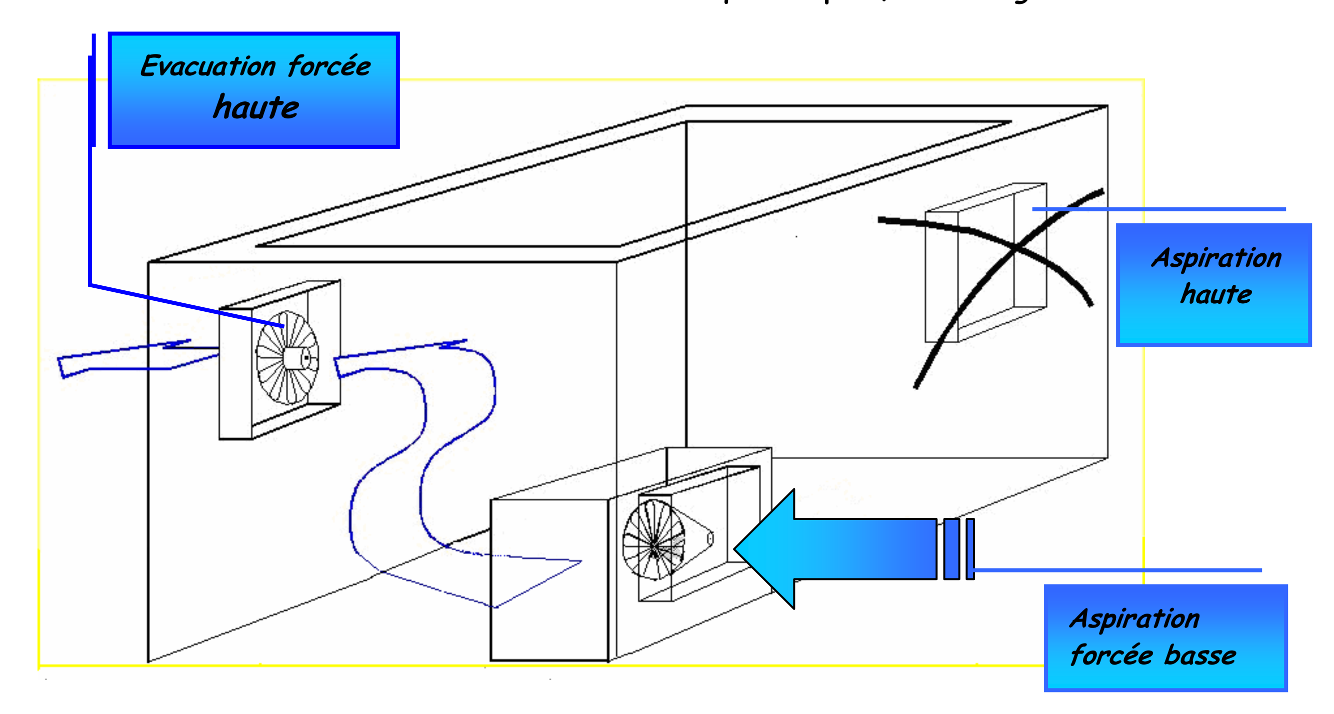


Figure 2 Ventilation forcée

Le compresseur est placé devant la prise d'air. Le ventilateur est placé, en hauteur, devant l'aération. Le trajet de l'air dans le local doit être aussi court que possible. Il peut éventuellement être canalisé tout du long, jusqu'à l'extérieur.

Il faut faire en sorte que l'ouverture ou la fermeture de la porte de la station ne modifie pas trop la ventilation du compresseur. La ventilation électrique doit être commandée par un thermostat en fonction de la température du local, en hiver ou en été.

Il est cependant indispensable de prévoir une commande manuelle pour la maintenance de celui-ci.

La température du local pourra être surveillée par un thermomètre fixé au mur, les températures limites admissibles y seront repérées.

Les compresseurs récents, en particulier quand ils sont insonorisés, sont placés dans des armoires avec des prises d'air et des évacuations bien définies. Il faut suivre alors les recommandations du constructeur pour les installer.

On peut calculer, approximativement, certains éléments de la ventilation forcée par les formules suivantes.

Le débit d'air minimum "D" à assurer est, en m^3/Heure :

D = (Débit de remplissage en m3 / heure) x 100

Les fabricants indiquent les débits dont sont capables leurs extracteurs. La surface S des ouvertures de ventilation doit être telle que :

$$S = \frac{\text{Débit de remplissage en } m^3 / \text{heure}}{100}$$

Exemple : un compresseur de $40m^3$/heure nécessite un débit de ventilation de 4000 m^3/heure. Les aérations devront faire au moins 0,4 m², soit par exemple, 100 cm x 40 cm. La surface est évidemment plus petite que celle nécessaire en ventilation naturelle.

Refroidissement par eau

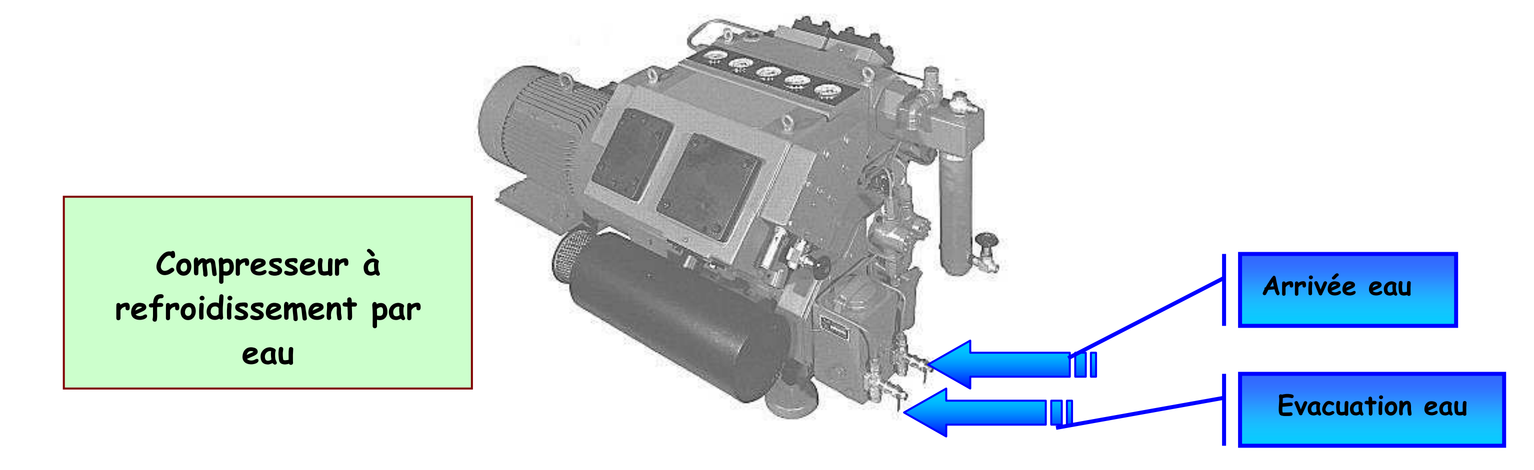
Si l'on ne peut ventiler par des ouvertures adéquates, il faut choisir un compresseur à refroidissement par eau.

Eau perdue

Il consiste à rejeter à l'égout l'eau utilisée. La figure 3 ci-après montre une telle disposition.

Cette solution est relativement économique en investissement. Malheureusement l'eau réchauffée est rejetée à l'extérieur et donc coûte cher en fonctionnement. Pour un compresseur de 60 m^3/h, il faut compter 1500 litres d'eau à l'heure.

Le compresseur peut aussi être refroidi à l'eau de mer. Dans ce cas, il faut ajouter un filtre et une pompe de circulation prévue pour la dénivellation existante. Des anodes de protection peuvent être utiles pour éviter la corrosion électrochimique.



Remarque :

- Dans le cas de la ventilation, on devra, éviter que l'air chaud évacué ne puisse être récupéré par la prise d'air frais. On doit aussi éviter, par une grille ou mieux une chicane, que des objets venant de l'extérieur puissent atterrir dans la ventilation du compresseur…
- Dans le cas d'un refroidissement par eau, l'échange thermique par rayonnement persiste pour une valeur de 10 à 20% de la puissance totale. Il devra donc être éliminé par convection naturelle ou forcée (ventilateur).
- On prendra garde de bien purger le circuit d'eau de toute présence d'air.

STOCKAGE DE L'AIR COMPRIME ET POSTE DE REMPLISSAGE







Le stockage fait de blocs tampons de 50 l se doit d'être isolé du poste de gonflage par une paroi, Les pressions de gonflage seront contrôlées par de manos et par vannes permettant de maîtriser le débit et la température.



des câbles interdisant tout fouettement des canalisations de gonflage reliant le bloc avec le tableau de commande en cas de rupture de celles ci

Schéma d'un station de gonflage

GESTION DU STOCK D'AIR ET METHODE DE GONFLAGE DES BLOCS

La Pression

C'est le rapport d'une force extérieure normale à un élément de surface d'un corps, à cet élément de surface.
On parlera de surpression (ou de compression) et de dépression selon que la force appuie ou aspire.
Cette pression peut être ponctuelle (talon aiguille) ou répartie (tas de sable).
La pression des fluides : Elle est exercée par le fluide dans lequel baigne le corps
-La pression hydraulique ou hydrostatique si c'est un liquide (pour nous eau douce ou eau salée).
-pression aérostatique si c'est un gaz.

$$\text{Pression} = \frac{\text{Force}}{\text{Surface}}$$

La loi de MARIOTTE

A température constante, le volume d'un gaz est inversement proportionnel à la pression qu'il subit.
On peut écrire que…

$$P \times V = \text{CONSTANTE} \quad \text{OU} \quad P1 \times V1 = P2 \times V2 = P3 \times V3$$

- PRESSION : P2=P1V1/V2 *- VOLUME : V2=P1V1/P2*

La loi de GAY LUSSAC

A volume constant, la pression d'un gaz est proportionnelle à sa température absolue et augmente proportionnellement à son élévation en température.

$$P/T = Cte$$

P1/T1 = P2/ T2

- température : T2 = P1 X T1 /P2
- pression : P2 = P1 X T2 / T1

Avec P1 : La pression initiale en bar
T1 : La température initiale en Kelvin
P2 : La pression finale en bar
T2 : La température finale en Kelvin = Température absolue : Température centigrade + 273 avec comme unité le degré kelvin (symbole:K)

T Kelvin = T Celsius + 273= 35°C + 273 = 373 °K

La loi de CHARLES

A pression constante, le volume occupé par un gaz est proportionnel à sa température absolue et augmente proportionnellement à son élévation en température.

$$V/T = Cte$$

Le Calcul des transvasements, problème de tampons

La résolution des problèmes de transvasement entre un bloc et un tampon, repose toujours sur le même raisonnement :
La quantité d'air totale dans l'ensemble (tampons + bouteille) est la même avant et après l'opération de transvasement

La résolution de ces exercices peut se faire en écrivant la conservation de la quantité de gaz sous forme d'équation ou par un raisonnement moins "matheux". Les deux raisonnements seront développés à chaque exemple. Ils sont aussi valables l'un que l'autre chacun choisira celui qu'il maîtrise le mieux.

Exemple 1 : gonflage à l'équilibre

On dispose d'un tampon de 50 litres à 250 bar . On veut gonfler 3 blocs de 12 litres dans lesquels il reste 60 bar .
Mettre en communication tampon et blocs jusqu'à l'équilibrage de la pression des blocs et des tampons. Quelle est cette pression d'équilibre ?

a/ résolution "littéraire"
Quantité d'air avant opération :
Q1 = 50 x 250 + 3 x 12 x 60 = 14 660 l
Après opération, la quantité d'air se répartit dans le volume des tampons et des bouteilles :
Volume total disponible :
V = 50 + 3 x 12 = 86 litres
La pression d'équilibre est donc : P équilibre = Q1 / V = 14 660 / 86 = 170,4 bar

b/ résolution par équation
avec :
Pt : pression dans le tampon avant opération
Pb : pression dans le bloc avant opération
Vb : volume du bloc
Vt : volume du tampon
Peq : pression d'équilibre en fin de gonflage.

Conservation de la quantité de gaz : Pt x Vt + Pb x Vb = cte
Après équilibrage nous avons : Pression dans le tampon = Pression dans le bloc = Peq

donc :

$$(Peq \times Vb) + (Peq \times Vt) = (Pt \times Vt) + (Pb \times Vb)$$
$$Peq \times (Vb + Vt) = (Pt \times Vt) + (Pb \times Vb)$$

$$Peq = \frac{Pt.Vt + Pb.Vb}{Vb + Vt}$$

Exemple 2 : gonflage à la pression de service des blocs

On dispose d'un tampon de 50 litres à 250 bar. On veut gonfler 1 bloc de 12 litres dans lequel il reste 60 bar (pression résiduelle).

On met en communication tampon et bloc jusqu'à ce que la pression du bloc soit égale à sa pression de service (200 bar). Quelle est la pression restant dans le tampon ?

Pression manquant dans le bloc (Pm) = Pression de service - Pression résiduelle
Pm = 200 - 60 = 140 b

Quantité d'air à rajouter dans le bloc pour l'amener à 200 bar :
Qb1 = Pm x Vbloc = 140 x 12 = 1680 l.bloc

Cette quantité d'air vient du tampon, elle a été retirée à la quantité d'air qui se trouvait dans le tampon avant l'opération de gonflage.

Quantité d'air dans le tampon avant opération :
Qt2 = 50 x 250 = 12 500 l.tampon
Quantité d'air restant dans le tampon après opération :
Qt3 = Q2 - Q1 = 12 500 - 1680 = 10 820 l
Pression dans le tampon :
Pt = Qt3 / Vtampon = 10 820 / 50 = 216,4 b

b/ résolution par équation

Conservation de la quantité de gaz : Pt.Vt + Pb.Vb = Cte
Après gonflage : Pression finale dans le tampon = Ptf (C'est l'inconnue que l'on recherche)
Pression dans le bloc = Ps (Pression de service, connue)

$$(Ptf \times Vt) + (Ps \times Vb) = (Pt \times Vt) + (Pb \times Vb)$$
$$Ptf \times Vt = (Pt \times Vt) + (Pb \times Vb) - (Ps \times Vb)$$
$$Ptf \times Vt = (Pt \times Vt) - (Vb \times (Ps - Pb))$$
$$Pt(finale) = \frac{(Pt \times Vt) - (Vb(Ps-Pb))}{Vt}$$

-1 Si vous disposez d'un compresseur seul :

Avec un compresseur de 20 m3/ heure nous pouvons comprimer un volume d'air de :
1m3 = 1000 dm3 = 1000 litres donc le compresseur fournit 20000 litres

si nous voulons gonfler 3 «tampons» de 50 l à 300 bars soit 3 x 50 x 300 = 45000 litres

Ainsi nous pouvons calculer le temps nécessaire pour cela :

45 000 l / 20 000l par heure = 2,25 X 60 /100 = 135mn soit 2h 15mn

-2 Si vous disposez d'une station avec blocs tampons de 50 L

Nous avons deux blocs :
-un de 12L à 30bars
-un de 15L à 50 bars
Nous désirons les gonfler à 200 bars à partir d'une station comprenant deux tampons de 50l :
-le n°1 a 220 bars
-le n°2 a 270 bars

- Méthode

Sans ouvrir les tampons nous allons équilibrer les blocs 12L et 15 par transvasement entre eux :

(12 x 30) + (15 x50) / (12 + 15) = 1 110 / 27 = 41 bars dans les deux blocs

En laissant les deux blocs équilibrés ouverts nous allons transvaser depuis le tampons n°1 le moins gonfler soit celui de 220bars

(12x41) + (15x41) + (50x220) / (12+15+50) = 12 107 / 77 = 157 bars dans les blocs et le tampon n°1

En fermant le tampon n°1 de 157 bars, nous allons compléter a 200bars avec le tampon n°2 de 270 bars, nous voyons de suite que la pression sera trop grande si nous la contrôlons pas dans le transvasement

(12 x 157) + (15 x 157) + (50 x 270) / (12 + 15 + 50) = 17 739 / 77 = 230 bars

Ce qui est trop nous cesserons le gonflage à 200 bars comme prévu en contrôlant la pression admise à l'aide du robinet du panneau de commande

Nous devons rajouter seulement : 200 – 157 = 43 bars dans nos blocs
Soit un volume de : (12 x 43) + (15 x 43) = 1 161 L et à retirer du tampon n°2
Sa pression sera de : (50 x 270) – 1 161 / 50 = 246 bars

-3 la température influe la pression du bloc

un bloc de 15 l gonflé à 200 b à 20 °C est exposé en plein soleil. L' air monte à une température de 60 °C. Que se passe-t-il ?

P2=P1 X T2/T1 -> P2 = 200 b x (60 + 273) / (20 + 273) -> 200 x 333 / 293 = 227 b
Le bloc monte en pression de 27 bars (+14 %).

Il risque, si la température monte trop, d'être porté au delà de la pression de service. Le responsable gonflage du club gonfle les blocs à 200 bars. L'air, comprimé, s'échauffe à 60°C. Une fois refroidi à 20°C, quelle sera pression dans chaque bloc ?

P2 = P1 X T2 / T1 -> P2 = 200 x (20 + 273) / (60 +273) -> 200 x 293 / 333 = 175 b

Un bloc perd toujours de la pression après le gonflage.
un plongeur prend un bloc de 15 l gonflé à 200 b à 20°C. Il plonge au Bourget où la température moyenne est de 6°C. Que se passe-t-il ?

P2=P1XT2/T1 -> P2 =200 x (6+273) / (20+273) =190 b

-4 - Dans l'eau froide, les blocs perdent de la pression, donc l'autonomie du plongeur est réduite.

Des plongeurs envisagent une plongée sur un site nécessitant une bonne autonomie. Pour cela la veille de leur escapade, ils procèdent au gonflage leurs blocs de 15 litres. La pression de fin de gonflage est de 230 bars et la température de leurs blocs est alors de 35 °C

1) Quelle sera la pression de leur bloc le lendemain matin sachant que la température ambiante est de 17°C?

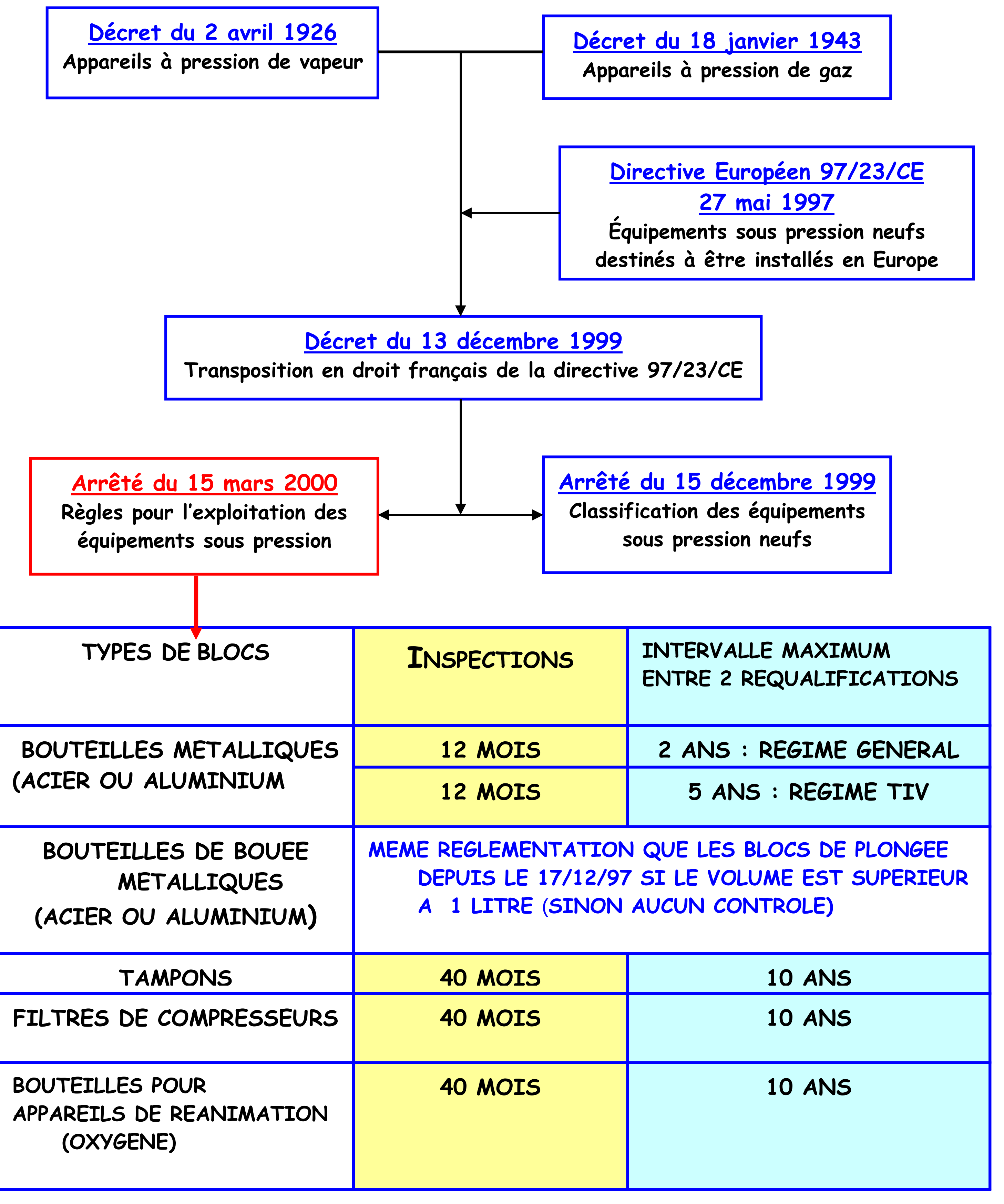
35° C = 35 + 273 = 308° kelvin et 17° C = 17 + 273 = 290° Kelvin
P/T = Cste soit P = 290k x 230b / 308 = 216,6 bars

2) Après avoir regonflé leurs blocs à 230 bars, qui sont restés à la température ambiante de 17C°, ils partent plonger dans une eau à 5°C. Quelle sera leur autonomie à 32 mètres avec une réserve fixée à 50 bars et avec une consommation de 21 litres/minute mesurée à la pression atmosphérique?

17°C =17°C + 273 = 290 ° Kelvin et 5°C= 5°C + 273 = 278° kelvin
Pression des blocs à 5°C = 278k X 230b / 290k = 220,5b
Autonomie = (220,5b – 50b) x 15 / (21.l mn x 4,2b) = 29 minutes

LA REGLEMENTATION

Cette réglementation est la suivante pour tous les appareils à pression de gaz qui composent les stations de gonflage



TYPES DE BLOCS	INSPECTIONS	INTERVALLE MAXIMUM ENTRE 2 REQUALIFICATIONS
BOUTEILLES METALLIQUES (ACIER OU ALUMINIUM	12 MOIS	2 ANS : REGIME GENERAL
	12 MOIS	5 ANS : REGIME TIV
BOUTEILLES DE BOUEE METALLIQUES (ACIER OU ALUMINIUM)	MEME REGLEMENTATION QUE LES BLOCS DE PLONGEE DEPUIS LE 17/12/97 SI LE VOLUME EST SUPERIEUR A 1 LITRE (SINON AUCUN CONTROLE)	
TAMPONS	40 MOIS	10 ANS
FILTRES DE COMPRESSEURS	40 MOIS	10 ANS
BOUTEILLES POUR APPAREILS DE REANIMATION (OXYGENE)	40 MOIS	10 ANS

DECLARATION A LA DIRECTION .REGIONALE DE L'INDUSTRIE DE LA RECHERCHE ET DE L'ENVIRONEMENT.

En France, lorsqu'une nouvelle installation fixe est faite, elle doit être déclarée, avant la mise en service, au bureau de la D.R.I.R.E, de la préfecture dont elle dépend. Faite par l'installateur ou le propriétaire. Selon un dossier à charge pour l'installateur et le propriétaire de se les procurer. Apres acceptation la DRIRE remettra un récépissé de déclaration.

Arrêté du 15 mars 2000
Règles pour l'exploitation des équipements sous pression

Articles et paragraphes les plus importants dont vous devez en prendre connaissance pour évaluer le respect de cet arrêté et de la sécurité au cours de séance de gonflage dans une station fixe ou mobile et du maniement des blocs de plongée. (Voir en annexe 2)

DOCUMENTS DE LA STATION DE GONFLAGE

De nombreuses raisons doivent faire considérer la station de gonflage comme une installation à risques particuliers.

L'exploitant d'une installation présentant des risques pour le personnel, le public ou l'environnement est tenu de prendre toutes les mesures nécessaires pour que cette installation fonctionne sans causer de dommages.

En conséquence, les responsables de clubs doivent porter une attention particulière aux personnes utilisant la station de gonflage.

En conséquence, les responsables de clubs doivent porter une attention particulière aux personnes utilisant la station de gonflage :

Ces personnes doivent :

1. *Etre informées des risques*
2. *Etre formées à l'utilisation*
3. *Connaître les anomalies de fonctionnement et savoir comment réagir.*

Pour assurer le contrôle de la station de gonflage avec un minimum de sécurité les clubs devraient disposer de 3 documents essentiels.

Ces documents sont à tenir et à conserver avec soin. L'administration peut demander à consulter ces documents,
En cas de d'accident de plongée, même si rien n'indique à priori que le gonflage soit en cause, ces documents seront demandé.

Un affichage en station est également obligatoire.

Documents à tenir par le club

Personnes autorisées : *Article 8 - de l'arrêté du 15 mars 2000*
- Liste des personnes habilitées à utiliser la station :
- Dates Reconfirmation périodique
- Aval du bureau ou du président

Manuel et consignes de la station de gonflage
- Consignes de sécurité et d'usage, documents constructeur.
- Ce document doit être daté visiblement

Dossier d'entretien *Article 6 § 6 de l'arrêté du 15 mars 2000* -
- Heures de marche
- Opérations d'entretiens
- Interventions
- Incidents, anomalies
- PV d'inspection, de
- requalifications
- Factures.

LE MANUEL DU GONFLEUR

Affichages

1. Présence des panneaux de consignes (suivant modèles) ;
2. Plan d'évacuation (suivant modèle) ;
3. Présence des panneaux de signalisation de dangers éventuels (suivant modèles) ;
4. Emplacement des extincteurs ;
5. Tableau de maintenance périodique du compresseur

Plans d'installation

Consignes d'exploitation

1. Les consignes d'entretien préventif (facultatif)
2. Les consignes d'utilisation du compresseur fournies par le fabricant (obligatoires).
3. Les consignes de gonflage (obligatoire). La Fédération a créé une fiche destinée à être affichée sur tout lieu de gonflage.Les consignes particulières ne sont pas toutes obligatoires mais cependant indispensables. Elles sont élaborées par les responsables de l'installation et éventuellement en collaboration avec les services de secours

Guide de dépannage des compresseurs (voir en annexe)

Annexe 1

Exemple de guide de dépannage

CAUSE PROBABLE		REMEDE
Excès de pression inter étage.	1 Anomalie sur clapet aspiration de l'étage suivant.	Vérification du clapet suspect dont l'étanchéité et le fonctionnement peuvent être compromis par une particule ou une pièce cassée.
	2. Manomètre.	Comparer les indications données par le manomètre douteux à celles d'un manomètre référence.
Excès de pression finale.	1. Régulation.	Vérifier la pression de coupure du pressostat de régulation.
	2. Manomètre.	Comparer les indications données par le manomètre douteux à celles d'un manomètre référence.
Pression ou débit insuffisant	1. Filtre d'aspiration, bouché ou colmaté.	Vérifier, nettoyer et remonter.
	2. Clapet d'aspiration du 1er étage défectueux.	Vérifier, nettoyer ou changer et remonter.
	3. Fuite sur compresseur ou réseau.	Vérifier que les purges du compresseur sont bien fermées. Vérifier le réseau en aval du compresseur, stopper et resserrer les raccords.
	4. Usure des ensembles cylindre/piston /segments.	Cette usure se détecte généralement par des fuites importantes par le reniflard du carter. Si ces fuites sont constatées, démonter et vérifier les segmentations.
	5. Anomalie de transmission.	Vérifier état et tension des courroies. Les changer éventuellement ou procéder au réglage de leur tension.
	6. Soupape non étanche.	Changer la soupape.
	Anomalie de clapet.	Vérifier, nettoyer ou changer éventuellement.
	1. Taux d'utilisation admissible dépassé.	Demander conseil au fabricant.

Echauffement anormal.	1. Taux d'utilisation admissible dépassé.	Demander conseil au fabricant.
	2. Le compresseur est mal refroidi.	Vérifier la température ambiante. Elle ne doit pas dépasser 45°.

DEFAUT	CAUSE PROBABLE	REMEDE
Echauffement anormal.	3. Les ailettes des cylindres et (ou) des réfrigérants encrassées.	Nettoyer
	4. Anomalies de clapet.	Vérifier, réparer ou changer.
	Sens de rotation incorrect.	Inverser 2 phases de réseau.
Niveau sonore Excessif.	1. Transmission de vibration aux tuyauteries.	Vérifier la liaison compresseur / réservoir. Fixer correctement les tuyaux.
	2. Niveau d'huile trop bas.	Faire le niveau d'huile.
	3.Désalignement de la transmission.	Vérifier et régler.
Augmentation du temps de marche du compresseur.	1. Augmentation des besoins.	Analyser l'évolution des besoins, doubler éventuellement le compresseur.
	2. Fuite importante sur réseau.	Vérifier, étancher.
	3. Fuite sur circuit d'air au travers du compresseur.	Vérifier, étancher.
	4. Vitesse de rotation accidentellement réduite.	Vérifier.
.	1. Air aspiré par le compresseur chargé de poussières abrasives.	Vérifier la prise d'air et le filtre d'entrée.
	2. Présence d'eau dans l'huile du carter.	Vérifier le bon fonctionnement des purges automatiques ou faire des purges manuelles plus fréquentes. Remplacer l'huile polluée.

Annexe 2

Arrête du 15 mars 2000
Règles pour l'exploitation des équipements sous pression

Articles et paragraphes les plus importants vous devez en prendre connaissance pour évaluer le respect de cet arrêté et de la sécurité au cours de séance de gonflage dans une station fixe ou mobile et du maniement des blocs de plongée.

TITRE Ier : CHAMP D'APPLICATION ET DEFINITIONS

Art. 2. - Le présent arrêté est applicable aux équipements sous pression mentionnés à l'article 2 du décret du 13 décembre 1999 susvisé et dont les caractéristiques répondent aux dispositions
§ 2. Les récipients de gaz destinés à contenir un fluide du groupe 2 autre que la vapeur, dont le produit PS .V est supérieur à 200 bar.l, à l'exception de ceux dont le volume V est au plus égal à un 1 et la pression maximale admissible PS au plus égale à 1 000 bar et à l'exception de ceux dont la pression maximale admissible est au plus égale à 4 bar sauf s'il s'agit des récipients à couvercle amovible à fermeture rapide ;

Art. 3. - Le présent arrêté est applicable aux accessoires sous pression destinés à être installés sur des équipements sous pression mentionnés à l'article 2 ci-dessus. Pour l'application du présent arrêté, ces accessoires sous pression doivent respecter les dispositions applicables soit aux tuyauteries, soit aux récipients.

Art. 4. - Le présent arrêté est applicable aux accessoires de sécurité destinés à la protection contre le dépassement des valeurs limites admissibles de certains paramètres d'exploitation des équipements sous pression mentionnés à l'article 2 ci-dessus. Ces accessoires de sécurité sont soumis aux dispositions des titres II, III, IV et V du présent arrêté avec les équipements sous pression qu'ils protègent.

TITRE II : CONDITIONS D'INSTALLATION ET D'EXPLOITATION

Art. 5. - Outre les définitions figurant à l'article 1er du décret du 13 décembre 1999 susvisé, les définitions suivantes sont applicables dans le cadre du présent arrêté :
§ 5. Par « exploitant », on entend le propriétaire d'un équipement sous pression, sauf convention contractuelle contraire ;
§ 6. Par « expert », on entend la personne sous le contrôle de laquelle sont effectuées les opérations de requalification périodique définies au titre V du présent arrêté ;
§ 7. Par « agents chargés de la surveillance des appareils à pression », on entend les agents chargés de la surveillance des appareils à pression mentionnés au point II de l'article 17 du décret du 13 décembre 1999 susvisé ;
§ 8. Par « service inspection reconnu », on entend un service inspection reconnu en application de l'article 19 du décret du 13 décembre 1999 susvisé ;

§ 9. Par « organisme habilité », on entend, sauf précision contraire, un organisme indépendant habilité conformément au titre IV du décret du 13 décembre 1999 susvisé pour les activités mentionnées à l'article 18 de ce même texte ;
§ 10. Par « intervention », on entend toute réparation ou modification sur un équipement sous pression, et par « intervention notable », on entend toute réparation notable ou modification notable.

Art. 8. - Le personnel chargé de la conduite d'équipements sous pression doit être informé et compétent pour surveiller et prendre toute initiative nécessaire à leur exploitation sans danger. Pour les équipements sous pression répondant aux critères de l'article 15 (§ 1) du présent arrêté, ce personnel doit être formellement reconnu apte à cette conduite par leur exploitant et périodiquement confirmé dans cette fonction.

TITRE III : INSPECTIONS PERIODIQUES

L'inspection périodique est réalisée sous la responsabilité de l'exploitant, par une personne compétente apte à reconnaître les défauts susceptibles d'être rencontrés et à en apprécier la gravité.
§ 2. Toute inspection périodique donne lieu à l'établissement d'un compte rendu mentionnant les résultats de tous les essais et contrôles qui ont été effectués.
§ 3. L'inspection périodique a lieu aussi souvent que nécessaire, l'intervalle entre deux inspections périodiques ne pouvant dépasser :
- douze mois pour les bouteilles pour appareils respiratoires utilisées pour la plongée subaquatique
- quarante mois pour les autres récipients sous pression, à l'exception des tuyauteries et à l'exception des récipients à pression de vapeur mentionnés au dernier alinéa du § 2 de l'article 25 ci-après.
Art. 11. - § 1. L'inspection périodique comprend : une vérification extérieure, une vérification des accessoires de sécurité et des investigations complémentaires en tant que de besoin. Elle porte sur toutes les parties visibles après exécution de toutes mises à nu et démontage de tous les éléments amovibles.
§ 4. Pour les récipients, l'inspection périodique comporte en outre une vérification intérieure sauf lorsque l'exploitant peut garantir que ces récipients ont été continûment remplis d'un fluide dont les caractéristiques sont telles qu'aucun phénomène de dégradation (corrosion, érosion, abrasion,...) ne peut survenir.

TITRE IV : DECLARATIONS ET CONTROLES DE MISE EN SERVICE

Art. 15. - § 1. Les équipements sous pression suivante sont soumis à la déclaration de mise en service prévue à l'article 18 du décret du 13 décembre 1999 susvisé :
Les récipients sous pression de gaz, de vapeur ou d'eau surchauffée dont la pression maximale admissible (PS) est supérieure à 4 bar et dont le produit pression maximale admissible par le volume est supérieur à 10 000 bar.l,(blocs tampon)

Exercices

-1- Vous êtes chargés d'optimiser la gestion du gonflage pour les deux plongées de la journée.
Vous disposez d'un compresseur débitant 16m3/h.

Questions

a) Combien de temps mettra t-il pour gonfler simultanément un lot de 8 bouteilles de 12 L à 200 bars, sachant :
- que quatre d'entres elles sont vides : 4 x 12lx0bars
- une a une pression résiduelle de 60 bars : 60bars x12l
- trois ont encore 100 bars. : 3x12x100b

Nous définissons résiduel le volume total détendu
Volume résiduel détendu = (4x12lx0b) + (12lx60b) + (3x12lx100b)= 4 368 L
à la pression équilibrée de : 4 368l / (8X12L)= 45,5b

Nous cherchons le volume total détendu après gonflage :
Volume utile total détendu = 8x12x200b = 19 200 L

Nous cherchons le volume utile détendu pour remplir les blocs :
Volume utile total détendu = 19 200 L – 4 368 L = 14 832 L

Pour trouver la durée de gonflage
14 832L / 16 000L par h = 0,927 x60/100 soit 55mn et 62 secondes soit 0h56 mn

-2 - Des plongeurs envisagent une plongée sur un site nécessitant une bonne autonomie. Pour cela la veille de leur escapade, il procède au gonflage leurs blocs de 15 litres. La pression de fin de gonflage est de 230 bars et la température de leurs blocs est alors de 35 °C.

1) Quelle est la loi qui régit ce phénomène?
La loi de Charles
2) Quelle sera la pression de leur bloc le lendemain matin sachant que la température ambiante est de 17°C?
35° C = 35 + 273 = 308 kelvin et 17° C = 17 + 273 = 290 Kelvin
P/T = Cste soit P = 290*230/308 = 216,6 bars
3) Après avoir regonflé leurs blocs à 230 bars, qui sont restés à la température ambiante, ils partent plonger dans une eau à 5°C. Quelle sera leur autonomie à 32 mètres avec une réserve fixée à 50 bars et avec une consommation de 21 litres/minute mesurée à la pression atmosphérique?
Pression des blocs à 5°C = 278 X 230 / 290 = 220,5

Autonomie = (220,5 – 50) x 15 / (21 x 4,2) = 29 minutes

Votre club est équipé de deux compresseurs, un de 13 m3/heure et un autre de 24 m3/heure (montés en série).
On gonfle en moyenne 18 bouteilles de 12 litres et 10 bouteilles de 15 litres par séance, généralement la pression dans les bouteilles en fin de séances est en moyenne de 50 bars.

1) Quel est le temps moyen de gonflage de l'ensemble des bouteilles (pression finale 200 bars)? Donner le résultat à la minute prés.
1. Nombre de M3 : (18 x 12 + 10 x 15) x (200 - 50) / 1000 = 54,9 M3
Durée de gonflage : 54,9 / (13+24) = 1,48 avec 48 x 60 / 100= 29' soit 1 heure 29'

2) Le gonflage terminé, l'association voisine qui fait du paint-ball vous apporte 3 bouteilles de 15 litres avec une pression résiduelle de 10 bars;
Elle vous demande de les gonfler tout de suite. Heureusement, votre station de gonflage comporte 3 bouteilles tampons de 35 litres,
- la première gonflée à 129 bars,
- la deuxième gonflée à 185 bars
- la troisième gonflée à 241 bars.
Sachant qu'ils souhaitent avoir la même pression dans les trois blocs et que vous ne remettrez pas en route les compresseurs, à quelle pression allez-vous pouvoir gonfler les bouteilles?

2. Gonflage avec le tampon 129 bars
(3 x 15 x 10) + (35 x 129) = (3 X 15) + (35 x P P) = 62 bars
450+4515 =45 +35 xPP
4965 =45 +35xPp
4965/80 =62.06

Gonflage avec le tampon 185 bars
(3 x 15 x 62)+ (35 x 185) = (3 X 15) + (35 x P P) = 115,8 bars

Gonflage avec le tampon 241 bars
(3 x 15 x 115,8) + (35 x 241) = (3 X 15) + (35 x P P) = 170,6 bar

Un compresseur permettant de gonfler des bouteilles tampons à la pression de 220 bars et 2 bouteilles tampons d'une capacité intérieure (volume en eau) de 30 litres. Avec ce matériel on gonfle un bloc-bouteille vide ayant une capacité de 12 litres. Le volume de gaz contenu dans chaque bouteille est égal à sa capacité multipliée par sa pression, soit dans notre cas

30 x 220 = 6600 litres

A l'ouverture des robinets les pressions vont s'équilibrer. La capacité totale de l'ensemble (capacité de la bouteille tampon + capacité du bloc de plongée) est de 30 litres + 12 litres = 42 litres. Le volume de gaz comprimé contenu dans l'ensemble est égal au volume d'air comprimé dans la bouteille tampon plus la capacité du bloc (capacité x 1 bar de pression atmosphérique) soit 6600 + 12 = 6612 litres. La pression équilibrée sera donc :

P x 42 = 6612

soit P = 6612 : 42 = 157 bars

Après fermeture des robinets de la première bouteille tampon et ouverture du robinet de la deuxième, les pressions vont encore s'équilibrer. Maintenant le volume de gaz comprimé dans l'ensemble bloc-bouteille plus bouteille tampon est égal à la somme des volumes de chaque, soit

Bloc-Bouteille 12 x 157 = 1884 litres

Bouteille tampon 30 x 220 = 6600 litres

Au total nous aurons donc un volume de gaz comprimé de 8484 litres. La capacité de l'ensemble reste identique: 30 litres + 12 litres = 42 litres. la pression équilibrée sera donc:

P x 42 = 8484 litres

soit P = 8484 : 42 = 202 bars